

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Optimalizace technologie přivařování svorníků s hrotovým zážehem

Stud Welding Optimisation

Student:

Lukáš Vacek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vladislav Ochodek

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Vacek**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**
Téma: **Optimalizace technologie přivařování svorníků s hrotovým zážehem**
Stud Welding Optimisation

Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte studii použité technologie svařování.
2. Charakterizujte svařovanou konstrukci a použité materiály.
3. Proveďte rozbor vznikajících vad při svařování.
4. Navrhněte a realizujte experimentální program ověření vybraných vlastností svarových spojů.
5. Proveďte diskusi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

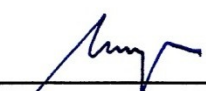
ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.
KUNCIPAL, J. a kol. *Nové technologie ve svařování*. SNTL. Praha, 1984.
ČSN EN ISO 14555. *Svařování – Obloukové přivařování svorníků z kovových materiálů*, Praha: Český normalizační institut, 2007. 59 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladislav Ochodek**


Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Petr Mphyla, Ph.D.
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě16.05.2016.....

.....Lukáš Vauk.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uloženu vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :16.05.2016

.....Lukáš Vacek

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Lukáš Vacek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Orlice 17
561 51 Letohrad

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Vladislavu Ochodkovi, za jeho odborné vedení a cenné rady, které podpořily vznik této práce. Rád bych zde také poděkoval své rodině, která mě při tvorbě mé práce a po době studií podporovala.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VACEK, L. *Optimalizace technologie přivařování svorníků s hrotovým zážehem: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2016, 59 s. Vedoucí práce: Ing. Vladislav Ochodek.

Bakalářská práce se zabývá optimalizací přivařování svorníků s hrotovým zážehem. V úvodu byl proveden rozbor technologie svařování, základního materiálu a přivařovaných svorníků. Byl navržen vhodný polotovar svařované konstrukce. Dále bylo provedeno svařování s odlišnými svařovacími parametry včetně úprav povrchů materiálu odmaštěním. Vzorky byly zkoušeny ohybovou a metalografickou zkouškou, kde vyhověly s přípustnými vadami. Byl proveden návrh opatření pro výrobu včetně kontrol. Návrh obsahuje podmínky pro kvalitativní svařování včetně kvalifikace personálu, který provádí svařování a kontrolu technologie svařování s hrotovým zážehem.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

VACEK, L. *Stud Welding Optimisation: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2016, 59 s. Thesis head: Ing. Vladislav Ochodek.

This thesis deals with the optimization of stud welding with tip ignition. Welding technology, basic material and welding stud was analyzed at the beginning of the work. We designed appropriate sample of welded construction. Furthermore, the welding was created by different welding parameters including surface finishing by degreasing. Samples were tested in bending and metallographic tests, which complied with allowable defects. It was made a proposal of measures for production, including controls. The proposal includes conditions for quality welding including the qualification of welding personnel performing welding and inspection of welding technology with tip ignition.

Obsah

1	Úvod	10
2	Studie použité technologie svařování	11
2.1	Obsahový popis svařovací technologie přivařování svorníků	11
2.2	Přivařování svorníků elektrickým obloukem (783)	12
2.3	Přivařování svorníků kondenzátorovým výbojem (785).....	13
2.4	Porovnání svařovacích technologií	15
2.5	Svařovací automat BMK-16i	15
2.6	Specifikace základního materiálu	16
2.7	Přivařovaný svorník	18
3	Charakteristika svařované konstrukce	21
4	Rozbor vznikajících vad při svařování	24
4.1	Technologické zkoušky.....	24
4.2	Vzniklé vady při technologii svařování s hrotovým zážehem	32
4.3	Fotodokumentace vzniklých vad.....	34
5	Experimentální ověření vlastností svarových spojů	37
5.1	Svařovací parametry.....	38
5.2	Zkouška ohybem	38
5.3	Rozbor metalografie.....	43
6	Diskuse dosažených výsledků	47
7	Návrh opatření pro výrobu včetně kontrol	48
8	Závěr.....	52
9	Seznam použité literatury	54

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Jednotka	Význam
A	[%]	Tažnost
Al	[hm. %]	Hliník
B	[hm. %]	Bor
C	[hm. %]	Uhlík
Cr	[hm. %]	Chrom
Cu	[hm. %]	Měď
ČSN	-	Česká technická norma
D ₁	[mm]	Průměr svorníku
D ₃	[mm]	Průměr svorníku pro přivaření
E	[lx]	Intenzita osvětlení
EN	-	Evropská norma
f	[Hz]	Frekvence
Fe	[hm. %]	Železo
H	[hm. %]	Dusík
H	[mm]	Výška paty svorníku
I	[cd]	Svítivost
I	[A]	Elektrický proud
ISO	-	Mezinárodní organizace pro standardizaci
l ₁	[mm]	Výška svorníku
M	-	Metrický závit
MC	-	Způsob výroby a tváritelnost za studena
M _{kmax}	[Nm]	Maximální krouticí moment
Mn	[hm. %]	Mangan
Mo	[hm. %]	Molybden
N	[hm. %]	Dusík
Nb	[hm. %]	Olovo
NDT		Nedestruktivní metody zkoušení
Ni	[hm. %]	Nikl
P	[hm. %]	Fosfor
PT	-	Tvarový druh svorníku
Q _v	[l/min]	Objemový průtok
R _{eH}	[MPa]	Minimální mez kluzu

R _m	[MPa]	Pevnost v tahu
R _{mk}	[MPa]	Maximální napětí v krutu
S	[hm. %]	Síra
S	[VA]	Zdánlivý výkon
Si	[hm. %]	Křemík
t	[ms]	Čas
Ti	[hm. %]	Titan
U	[V]	Elektrické napětí
V	[hm. %]	Vanad
WIG	-	Svařování wolframovou elektrodou
W _k	[mm ³]	Modul pružnosti
Zi	[hm. %]	Zinek
α	[°]	Úhel alfa
γ	-	Zkos

1 Úvod

Svařování slouží k vytvoření nerozebíratelného spoje, který se skládá ze dvou nebo více součástí. Požadavkem na svařování je vytvoření termodynamických podmínek, při kterých vznikají nové meziatomární vazby. Svařování primárně dělíme na tavné a tlakové. Technologie svařování se vždy určuje v závislosti na svařovaných materiálech a druhu spoje. Svařováním lze spojovat materiály kovové, nekovové a také materiály s odlišnými vlastnostmi.

Práce byla zadána firmou Bühler, která se zabývá výrobou strojů pro potravinářský průmysl. Tato firma využívá svařování, obrábění, montáž a další procesy výroby. Jedním z produktů je filtrační nádoba, na které se používá svařování kondenzátorovým výbojem. Konstrukcí je filtrační nádoba, která je tvořena kruhovitou podstavou se svorníky M10x20 tvořící nosný prvek pro upevnění filtračních válců. Na tyto filtrační válce je kladen tlak jednoho baru. Při nedokonalém svařování dochází k poškození přilnavosti dosedacích ploch a následnému nedokonalému filtrování média, které těmito válci proudí. Základním materiálem je válcovaná konstrukční mikrolegovaná ocel s jemnozrnnou strukturou. Přivařované jsou kondenzátorové svorníky s přírubou dle normy ČSN ISO 13918.

Cílem bakalářské práce je optimalizace svařování svorníků s hrotovým zážehem. Svařování se provádí svařovacím multifunkčním poloautomatem, na kterém se provádí svařování pomocí technologie kondenzátorovým výbojem, avšak včetně nepřípustných vad. Jedná se o technologii, kde dochází k zapálení elektrického oblouku za pomoci hrotu, který je umístěn na čele přivařovaného svorníku. Čelo svorníku se nataví a přitlačí na základní materiál. Výsledkem je přivařený svorník.

Předmětem práce je analyzovat svařovaný spoj a zjistit možné příčiny vzniku vad při svařování. Realizujeme experimentální program navržení vlastností svarových spojů. Pomocí ohybové a metalografické zkoušky, které jsou podrobně popsány v technické normě ČSN EN ISO 1455, určíme rozdíly mezi přípustnými a nepřípustnými vadami (kritéria pro kvalitativní hodnocení svarových spojů).

Výstupem je podrobné popsání vad, které mohou při svařování konstrukce nastat a opatření, která povedou k optimalizaci procesu svařování s hrotovým zážehem.

2 Studie použité technologie svařování

2.1 Obecný popis svařovací technologie přivařování svorníků

Metoda přivařování svorníků je technologie, kde výsledný svarový spoj vzniká působením tlakové (přítlačné) síly svařovací pistole ve spolupráci s natavením styčných ploch. Pro úspěšné vytvoření svarového spoje musí dojít k natavení jak základního materiálu, tak i svorníku nebo jiného komponentu, který je možno pomocí této technologie svařovat. Zdrojem tepla pro natavení svarových ploch je kondenzátorový výboj u technologie (785). U svařování se zdvihovým zážehem (783) je zdrojem tepla elektrický oblouk [1, 16].

Nejčastěji se jedná o užití přivařování upevňovacích komponentů (svorníků) na základní materiál. Tato technologie nalezne uplatnění převážně v sériové výrobě. V praxi se setkáváme s upevněním jednoho neseného komponentu několika desítkami svorníků. Pro ověření vlastností svarového spoje se užívají destruktivní a nedestruktivní metody zkoušení. Účelem moderního svařování je co nejvíce eliminovat vzniklé nedokonalosti ve svarovém spoji pomocí automatizace svařovacího procesu [4].

První zmínky o této technologii se vyskytly v Anglii na počátku 20. století, kde byla technologie prokazatelně využívána v přístavišti Portsmouth roku 1918. V té době se však jednalo teprve o jakéhosi předchůdce dnešní technologie. Značné zjednodušení technologického procesu využívající jednoduchý svařovací zdroj, který umožňoval vsunutí svorníku do hrotu svařovací hlavy. O několik let později byla technologie využívána v New Yorku, kde pomocí obloukového způsobu přivařování svorníku byly přivařovány svorníky k upevnění dřevěných částí paluby letadlové lodi na ocelovou konstrukci lodi [4].

V dnešní době se již užívá moderních regulovatelných zdrojů, které nám umožňují všestranné nastavení svařovacích parametrů. Výhradně užívané technologie svařování svorníků jsou.

- a) **Přivařování svorníků elektrickým obloukem 783** (tzv. zdvihovým zážehem).
- b) **Přivařování svorníků kondenzátorovým výbojem 785** (tzv. hrotovým zážehem) [1, 16, 19].

2.2 Přivařování svorníků elektrickým obloukem (783)

Základní princip této technologie zahrnující 4 procesové fáze je dobře graficky znázorněn na obrázku č. 1. Jednotlivé fáze svařovacího cyklu se zdvihovým zážehem jsou blíže charakterizovány a popsány v následujících bodech této podkapitoly.

Fáze I. - Nasazení do pozice

Požadovaný svorník daného materiálu a velikosti, který může být zakončen zaoblením nebo tupým kuželovým koncem, se vsune a zároveň upevní do patřičné kleštiny svařovací pistole. Je nezbytně nutné dodržet správné umístění svorníku, které je definováno výkresovou dokumentací. Speciální svařovací pistole se umístí na základní svařovací materiál, kde dojde ke společnému styku svorníku a základního materiálu [15, 19].

Následně může být spuštěn plně automatický svařovací cyklus, který podléhá přednastaveným hodnotám (svařovacím parametrům) konkrétního přístroje, na kterém proces probíhá. Počátek svařovacího cyklu je definován sepnutím elektrického proudu do hrotu přivařovaného svorníku. Parametry svarového spoje jsou svařovací proud, který se pohybuje od 100 - 2600A a svařovací čas od 5ms - 3s. Zdrojem svařovacího proudu je transformátor nebo inventer, který poskytne proud k zapálení elektrického oblouku [15, 19].

Fáze II. - Zdvih svorníku

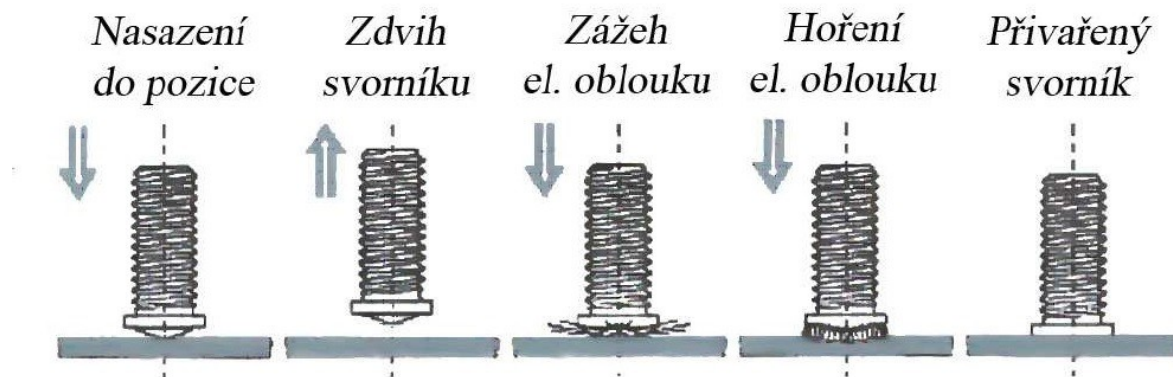
V této fázi svařovacího cyklu se nacházíme v plně automatickém provozu, což znamená, že řízení činností, které budou následovat, je definováno elektronicky ze svařovacího automatu. Svorník je nyní nadzvedáván nad základní materiál a vzniklou výškovou mezerou dojde k vytvoření elektrického oblouku [15, 19].

Fáze III. - Zážeh elektrického oblouku

Vzniklý elektrický oblouk je vytvořen mezi základním materiálem a čelem svorníku. V důsledku vysokých proudů, které jsou při svařování potřebné, dojde ke zkratu a následnému nastavení obou materiálů. Časový interval se časově pohybuje mezi 0.2 až 1 s, v závislosti na průměru a mechanických vlastnostech přivařovaného materiálu [15, 19].

Fáze IV. - Hoření elektrického oblouku

Materiály jsou nataveny a dochází k přitlačení svorníku do roztavené lázně svarového kovu. Zdroj proudu se vypne a dochází k vytvoření svarového spoje a **přivařeného svorníku** [15, 19].



Obr. 1. - Přivařování svorníků elektrickým obloukem [4]

2.3 Přivařování svorníků kondenzátorovým výbojem (785)

Tento způsob svařování svorníků se od technologie se zdvihovým zážehem liší převážně v zapálení elektrického oblouku. Další velmi významnou odlišností je samotný svorník, který je opatřen hrotem. Proto se tato technologie nazývá „Svařování svorníků s hrotovým zážehem“.

Velikost hrotu se liší v závislosti na průměru daného svorníků. Zpravidla se jedná o délku v rozmezí od 0,8 do 1 mm. Výstupek svorníku se také někdy nazývá startovacím hrotem [4, 22].

Celý postup je opět blíže charakterizován v jednotlivých fázích této podkapitoly a následně graficky znázorněn na (obr. 2).

Fáze I. - Nasazení do pozice

Svorník se upne do kleštiny svařovací pistole. Umístí se do požadovaného místa dle výkresové dokumentace. Přiloží se na základní materiál již přímo svým hrotem, kterým je opatřen svorník na svém čele.

Svorník a základní materiál se nachází v bezprostředním kontaktu a může dojít ke spuštění svařovacího cyklu [15, 22].

Fáze II. - Zapálení elektrického oblouku

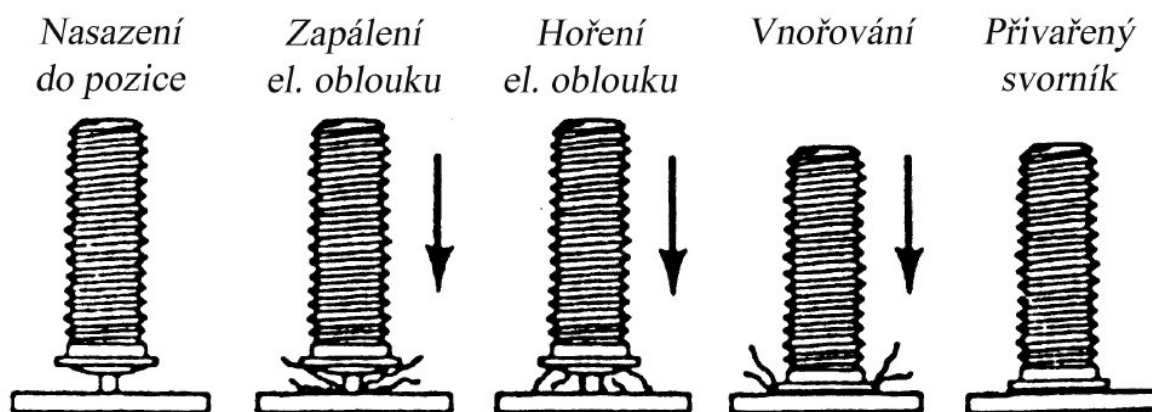
Po aktivování svařovacího proudu dojde k odpaření hrotu svorníku. Tím dojde k zapálení elektrického oblouku [15, 22].

Fáze III. - Hoření elektrického oblouku

Hoření elektrického oblouku zapříčiní natavení obou svařovaných materiálů. Doba hoření je velmi krátká. Řádově se jedná o časový interval v době trvání 1 ms [15, 22].

Fáze IV. - Vnořování

Svorník se přitlačnou silou zatlačí do svarové lázně a vzniká svarový spoj a **přivařený svorník** [15, 22].



Obr. 2. - Přivařování svorníků kondenzátorovým výbojem [4]

Výhodou svařovacího procesu je velmi krátký časový interval svařovacího cyklu, který trvá do 6 ms. Svařování s hrotovým zážehem nám dovoluje svařovat i materiály s rozlišným složením, jako například hliníkové svorníky na pozinkovaný plech. Díky průběhu svařovacího procesu, který trvá pouze zlomky sekund, je možno touto technologií svařovat velmi tenké plechy, aniž by docházelo k větším deformacím [4, 22].

Nevýhodou svařovacího procesu jsou značné nároky na čistotu svařovaných ploch. Vlastnosti povrchu materiálu ovlivňují především zbytkové nečistoty a olejové látky, které se na povrchu materiálu usazují. Oleje se užívají pro přípravu materiálu ve výrobě, například při válcování plechů, nebo obrábění, kde jsou oleje obsaženy v chladicím médiu. Dále se užívají jako konzervační látky pro zamezení vzniku koroze. Pro odstranění

nežádoucích látek z povrchu materiálu se užívají povrchové úpravy tryskáním, čištěním ultrazvukem, mořením [17, 18].

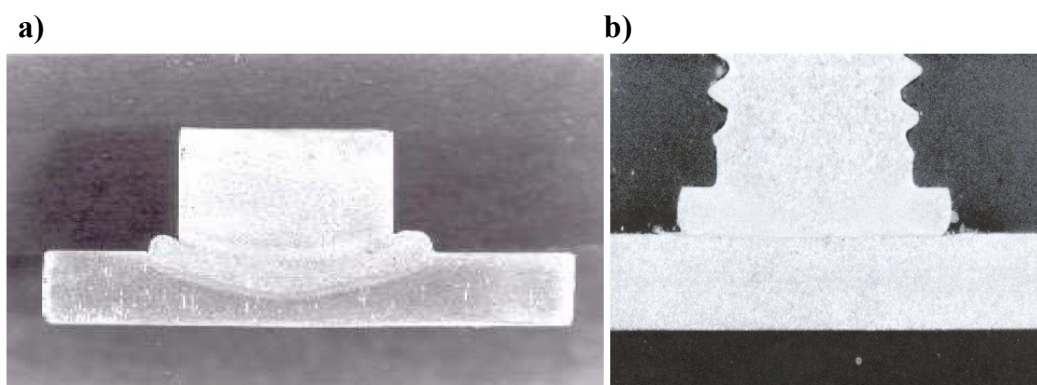
2.4 Porovnání svařovacích technologií

a) Zdvihový zážeh

Metalografický výbrus technologie svařování svorníků se zdvihem je k vidění na (Obr. 3. a).

b) Hrotový zážeh

Metalografický výbrus na (Obr. 3. b), na první pohled viditelnou homogenitou materiálu a menším podílem teplotních deformací [4].



Obr. 3. – Metalografické výbrusy přivařovaných svorníků [4]

2.5 Svařovací automat BMK-16i

Firma Bühler pro činnost přivařování svorníků užívá svařovací automat BMK-16i od firmy Soyer. Svařovací automat je multifunkční zařízení pro navařování svorníků, svařování elektrodou a svařování technologií WIG [8].

Nastavování lze kontrolovat přes display zařízení, což zvyšuje komfort při práci s tímto svařovacím automatem. Nastavení svařovacích parametrů v širokém rozsahu umožňuje svařování různých materiálů, jako jsou ocel, korozivzdorná a žáruvzdorná ocel. Rozměry navařovaných svorníků jsou limitovány průměry od 2 - 13 mm [8].



Obr. 4 – Svařovací automat BMK-16i [8]

Technická data

- Svařovací rozsah: M3 – M16,
- svařované materiály: ocel, nerez, žáruvzdorná ocel,
- svařovací pistole: PH-2,
- svařovací proud: 300 – 1000A (svařování s hrotovým zážehem),
- svařovací čas: 3 – 1000 ms,
- zdvih: 0 – 3,5 mm,
- doba přitlaku: 0 – 30 ms,
- svařovací kadence: do 50 svorníků (závislost na velikosti svorníku),
- elektrický zdroj: 3 x 400V 50/60Hz,
- výkon: 700VA,
- průtok ochranného plynu: max. 4 – 5 l/min [8].

2.6 Specifikace základního materiálu

Pro svařovaný díl se používá materiál ocel číslo 1.0980. Jedná se o válcovanou konstrukční mikrolegovanou ocel s jemnozrnnou strukturou dle ČSN EN 10149-2 s vrubovou houževnatostí za nízkých teplot. Je proto často využívána u nosných konstrukcí, tlakových nádob a potrubí. Vedle toho v automobilovém průmyslu, kde nachází uplatnění tam, kde dochází k dynamickému namáhání [6].

Tento materiál se vyznačuje zvýšenou tvářitelností za studena. Materiál je opatřen koncovkou svého označení „MC“. Označení „M“ popisuje způsob výroby, který je v našem případě termomechanicky válcován. Druhá část označení „C“ nám vypovídá o již zmíněné zvýšené tvářitelnosti za studena [6].

Podrobný popis základního materiálu

Materiál, který používá firma Bühler je dodáván od zákazníka, dle normy ČSN EN 10149-2s označením S420MC-O. Norma obsahuje ploché výrobky válcované za tepla, z oceli s vyšší mezí kluzu pro tváření za studena v části první. V druhé části pojednává o technických podmínkách pro termomechanicky válcované oceli. Materiál je dodáván v základních rozměrech 4000 x 2000 x 5 mm, který je dále opracován na požadované tvary a rozměry [2].

Chemické složení v hm. % pro oceli dle ČSN EN 10149-2

Tab. 1. Chemické složení [5]

Značka oceli	Číselní označení	Si	Mn	P	S	Al	Nb	V	Ti	C	Mo	B
		max.	max.	max.	max.	min.	max.	max.	max.	max.	max.	max.
S420MC	1.0980	0,5	1,6	0,025	0,015	0,015	0,09	0,2	0,15	0,12	-	-

Mechanické složení dle ČSN EN 10149-2

Tab. 2. Mechanické složení [5]

Značka oceli	Číselní označení	Minimální mez kluzu Re [MPa]	Pevnost v tahu Rm [MPa]	Minimální tažnost A % pro jmenovité tloušťky v mm		Minimální průměr trnu pro úhel ohybu 180°
				≤3 Lo = 80mm	≥3 Lo = 5.65√So	
S420MC	1.0980	420	480 - 620	16	19	0.5t


Atest materiálu ČSN EN 10204

Základní materiál je opatřen atestem ČSN EN 10204- 3.1[3].

Inspekční certifikát „3.1“

Dokument nám zaručuje spolu s dodaným materiálem i výsledky zkoušek. Musí být opatřen potvrzením. Dokument je potvrzen oprávněným zástupcem výrobce nezávislým na výrobních útvarech [13].

Použitý základní materiál dle ČSN EN 10204- 3.1

A01 en A05		A03 Nr. 1116086 Date 07/05/2015		A08 U/Auf.Nr. 182905 Date 04/02/2015		A07 U/Auf.Nr. 181648 Date 27/01/2015		Kontrakt Nr.																															
ARCELORMITTAL BREMEN GMBH CARL-BENZ-STRASSE 30 28237 BREMEN				STUERMSPS AG LANGRUETSTRASSE 20 9403 GOLDACH		A00.2 Bestimmung		STUERMSPS AG LANGRUETSTRASSE 20 9403 GOLDACH																															
ARCELORMITTAL ESP HRSH Twee Molensstraat 8 2440 GEEL 014241010 014285274				A00.1 Kunde		STUERMSPS AG LANGRUETSTRASSE 20 9403 GOLDACH		 032000113382905039584541011 stürmfo Charge: 0001694541																															
WERKZEUGNIS A02 3.1 / EN10204																																							
B01 - B04 SPEZIFIKATION MATERIAL -POS. 1 TOL DKP-S420MC-O 1T HUILAGE EN 10149-2 DKP-S420MC-O																																							
B09 Nr. POS.		1	B11 Länge mm	4000.000 ✓	B12 Breite mm	2000.000 ✓	B13 Dicke mm	5.000 ✓																															
Packnr. 1900684, 1900683, 1900685, 1900688, 1900689, 1900687																																							
B07 COIL-Nr		Ringnr. Lieferant Coil 481578100		B08 Schmelz-Nr 500012		Stückanzahl : 70 Total Gewicht (kg) : 22964		Groupage : 20150508053																															
CHEMISCHE ANALYSE																																							
		C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C79	C80	C81	C82	C83	C84	C85	C86	C87	C88	C89	C90																		
B07	B07.1	C	Mn	Si	P	S	N	Al	Nb	Ti	V	B	Cr	Cu	Ni	Mo	Cev				H																		
Lieferant Coil	Schmelz-Nr	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	C32																		
481578100	00000500012	0.0730	0.0430	0.0270	0.0080	0.0630	0.0069	0.0320	0.0481	0.0010	0.0030	0.0003	0.0360	0.0360	0.0190	0.0040	0.242																						
ZUCHVERSUCH										BIEGEVERS										KERBSCHLAG																			
B07	C04	C03	C02	C11 str grenz	C12 Zugfestig	C13 Dehnung	C14 Kaltbiege	C15 Ausdehnung	C50		C02	C03	C42	C42	C42	C43																							
Lieferant Coil	Zustand	Prüftemp.	Probebericht	Rp0.2	Rm	A5.65	r90	r90			Probebericht	Prüftemp.	KC1	KC2	KC3	Mittelwert																							
		C°		MPA	MPA	A%															J																		
481578100	F	+20	L	501	562	30.0				1																													
STEMPELN																																							
Es wird bestätigt, dass die Lieferung den Anforderungen der obengenannten spezifikation entspricht. Qualitätswesen ARCELORMITTAL BREMEN GMBH Dr. W. Breitschuh																																							
C02 Probenrichtung in Bezug zur Walzrichtung (L = 0° - T = 90° - S = 45°)										C04 Zustand (V=Gealtert - F=Frish - N=Normalisiert)										C50 Biegeveruch 1 = O.K.																			
durchgeführte kontrolles										Visuell : O.K.										Maßkontrolle : O.K.										Stempel : O.K.									

Page : 1

Obr. 7. – ČSN EN 10204- 3.1[25]

2.7 Přivařovaný svorník

Jedná se o kondenzátorový svorník s přírubou dle normy ČSN ISO 13918. Základní složkou svorníků je legovaná ocel, která je na povrchu opatřena měděným povlakem. Mechanické a chemické vlastnosti daného svorníku zahrnuje norma ČSN EN 898- 1 [7].

Atest dle ČSN EN 10204- 3.1, který popisuje chemické složení. Přivařovaný svorník dle ČSN ISO 13918 má označení PT. Označení určuje tvarové odlišnosti mezi svorníky [7].

Atest materiálu ČSN EN 10204



Köster & Co GmbH * Postfach 1364 * D-58242 Ennepetal

KANBAN SERVIS s.r.o.
Šimková Marcela
Roháčová 188/37

Ennepetal, 15.10.15

CZ 13000 Praha

Zeugnis-Nr.: CZ0001
Certificate No. / Certificat N°

Kundennummer: 24736104
Customer No. / Client N°
Bestellnummer: 152001958
Order No. / N° de commande
Auslieferungsmenge: 2945
Quantity delivered / Quantité livrée

Auftragsnummer: 1511351
File No. / Dossier N°
Artikelnummer: 100-1020-103
Art No.
KÖCO - Chargennummer: 876853
Heat No. / N° de coulée
Lieferscheinnummer: 153165
Delivery Note No. / bordereau de livraison

Artikelbezeichnung: PT GEWINDEBOLZEN EN ISO 13918
Object / Objet
Abmessung: M 10X 20 4.8 C2E
Dimensions / Mesures

Abnahmeprüfzeugnis DIN EN 10204 / 3.1

Inspection certificate DIN EN 10204 / 3.1
Certificat de réception DIN EN 10204 / 3.1

Prüfergebnisse / Test Results / Résultats des essais								
Rm N/mm²	A 5	RP02 / Rel	Ein-	Kerbschlag-	Kerbschlag-	Härte		
Zugfestigkeit	Dehnung %	N/mm²	schnürung	arbeit ISO-V	arbeit ISO-U	HB/HV/HRC		
Tensile strength	Elongation	Streckgrenze	Z %	J	J	Impact test		
Resistance à la traction	Allongement	Yield stress	Contraction	Impact test	Impact test	Réilience Charpy-V		
		Limite d'allongement	Striction			Réilience Charpy-U		
Istwert :	544	22	471	67				
Chargenanalyse / Chemical Composition of Heat / Composition chimique de la coulée								
C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Cr %	Ni %	
0,143	0,246	0,381	0,010	0,005	0,037	0,048	0,020	
N %	Mo %	B %	Ti %	Cu %	Zn %	Mg %	Co %	
	0,005			0,016				
V %	Fe %	N %	Nb %			sonstige %	CEV	
0,001								

Probe vom Halbzeug ☒
Test on semifinished product - Epreuve en demi-produit
Schmelzanalyse ☒
Analysis on heat - Analyse sur coulée
Abmessungsprüfung i.O. ☒
Dimensional test passed - Epreuve dimensionnelle passée

Probe vom Fertigteil ☐
Test on finished product - Epreuve en produit fini
Stückanalyse ☐
Analysis on product - Analyse sur produit
Optische Prüfung i.O. ☒
Visual test passed - Epreuve visuelle passée

Bemerkungen:
Remarks / Remarques

Köster & Co. GmbH
Abnahmebeauftragter
Works Inspector
Inspecteur d'Usine
Dipl.-Ing. Frank Hellkötter



Köster & Co GmbH
Spreeer Weg 32
D-58256 Ennepetal

Telefon +49 (0)2333 8306-0
Telefax +49 (0)2333 8306-38
E-Mail info@koeco.net
Internet www.koeco.net

15.10.2015 15:15

erstellt durch:

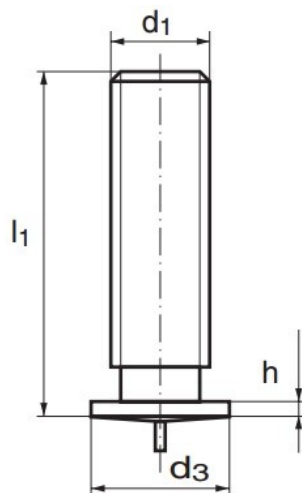
Le / HH

V 11.14

Geschäftsführer:
Dr. Harald Schulz
AG Hagen, HRB 6576

Obr. 8. – ČSN EN 10204- 3.1[23]

Tvarové a rozměrové specifikace svorníku EN ISO 13918



Obr. 9. – Rozměrové specifikace svorníku [7]

Tab. 3. Rozměrové specifikace svorníku [7]

D_1	D_3	H	l1
M10	13	3	20

3 Charakteristika svařované konstrukce

Svařovaná kruhová konstrukce slouží jako víko filtrační nádoby. Víko slouží k upevnění filtračních válců do těla filtrační nádoby. Filtrační nádoby jsou vyráběny v různých výškách. Problematika, kterou se zabýváme, zůstává u všech stejná.

Filtrační nádoba pracuje jako část celku v potravinářském průmyslu. Je určena k filtraci různých substancí od vzduchu. Převážně je však užívána k filtraci obilnin. Směs obilí, která je složena z obilného prachu, slupek a užitného obilí, je vháněna do filtrační nádoby pod tlakem jednoho baru skrze látkový filtr, kde se separuje. Látkový filtr je nesen drátovou konstrukcí válcového tvaru, která je ukotvena čtyřmi maticemi na námi zkoumané víko kruhového tvaru svorníky.

Nádoba dosahuje výšky dvou metrů. Konstrukce je namáhána tlakem 1 baru, avšak pro vyšší účinnost filtrace se plánuje navýšení pracovního tlaku na 4 bary. Optimalizace procesu svařování s hrotovým zážehem je tedy nutná převážně z důvodu zvýšení sil na svařovanou konstrukci. Při poruše filtru je nutná dlouhodobá odstávka celého výrobního procesu, která je finančně velmi náročná.

Na jedné filtrační nádobě je 104 filtračních válců, které musí zaručit stoprocentní filtraci. Při poruše buď jednoho nosného svorníku dojde k netěsnostem a ztrátě přilnavosti filtračního válce k víku filtru, což vede k poruše filtru a odstávce celého výrobního procesu.

Výchozím materiálem je válcovaná konstrukční mikrolegovaná ocel s jemnozrnnou strukturou, která se dále opracovává dle technické dokumentace laserem. Půdorysem konstrukce je kruh, který je z levé strany odlehčen. Po celém obvodu kruhu jsou dva druhy drážek pro korekci a přesné upevnění. Celý kruh je rozdělen na několik částí dle počtu montovaných filtračních nádob. Tyto části jsou uzavřeny čtyřmi svorníky M10x20 mm na roztečné kružnici průměru 160 mm. Uvnitř této roztečné kružnice je poté další odlehčení obecného tvaru, který je přesně specifikován pro operaci obrábění laserem. Rozměrové a tvarové specifikace nám nebyly doloženy z důvodu ochrany práv. Pro lepší

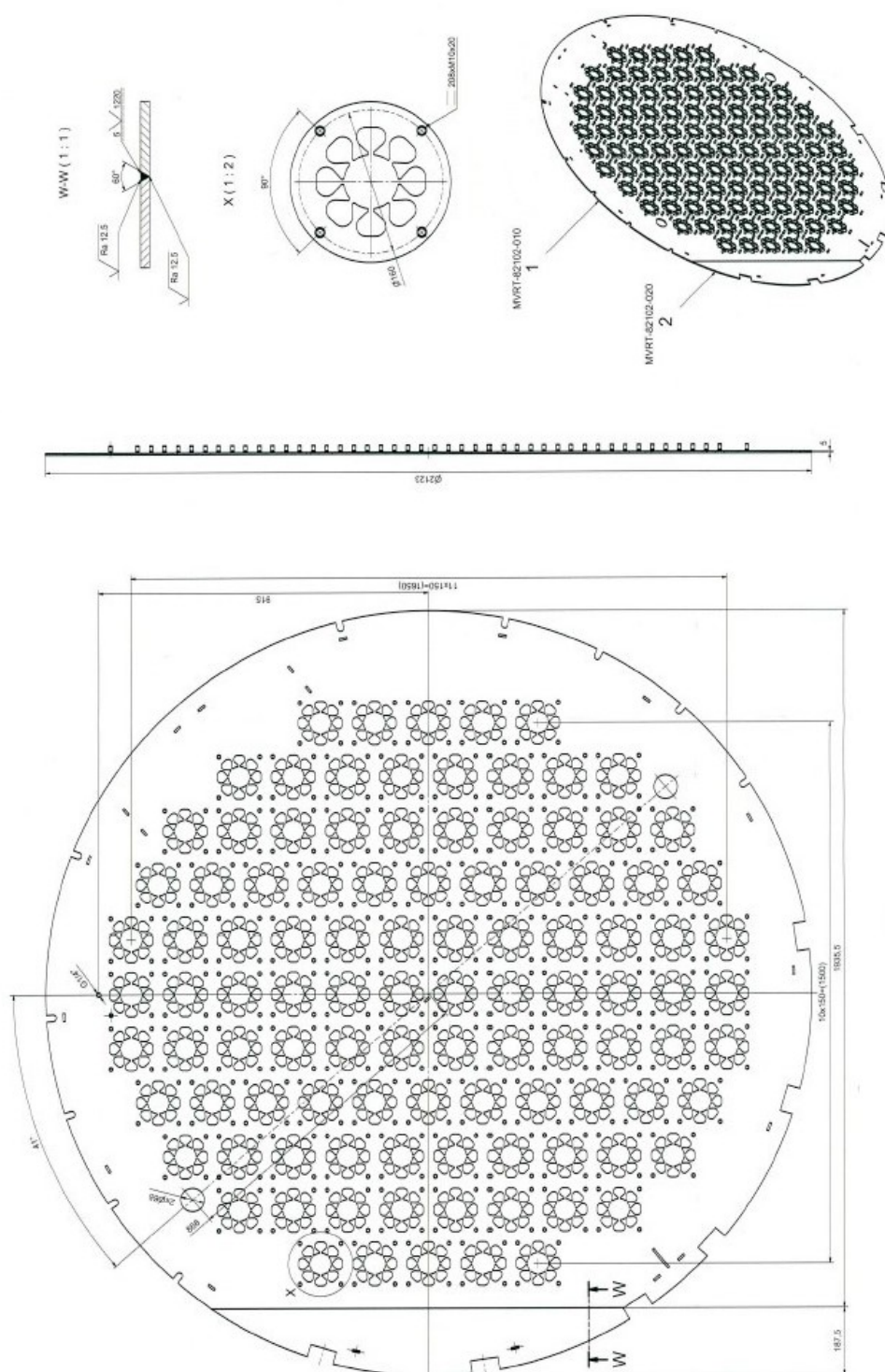
přehlednost je přiložen výkres podstavy svařence na straně č. 23. Na obr. 10 je výkres (schéma) konstrukce rozměrové specifikace svařence.

Filtrační nádoba



Obr. 10. – Filtrační nádoba

Výkres podsestavy svařence



Obr. 11 – Rozměrové specifikace svařence [24]

4 Rozbor vznikajících vad při svařování

Abychom byli schopni vzniklé vady definovat a odhalit je, určíme způsob a technologii, kterou budou sváry posuzovány. Vzniklé vady se dělí na přípustné a nepřípustné.

Ověřování kvality svařovacího procesu se provádí zkouškami, které se primárně rozdělují na zkoušky destruktivní a nedestruktivní. U destruktivních zkoušek se testovaný vzorek vystaví síle, která působí na svarový spoj. Zkoušky destruktivní vždy vedou k znehodnocení vzorku. Vzorky musí splňovat veškeré fyzikální a chemické vlastnosti jako výsledná svařovaná konstrukce. Poté jsou zaručeny objektivní výsledky, které mohou odpovídat vlastnostem svarového spoje na námi vyráběném dílcí.

Nedestruktivní zkoušky vedou k vyhodnocení kvality svaru bez nutnosti znehodnocení vzorku (případně konečného dílce). Hlavní výhodou těchto zkoušek je možnost jejich aplikace na konečný výrobek. To vede k možnosti deklarování vlastností svařovaného svorníků přímo u dodávaného výrobku. Rozdělení těchto zkoušek je od nejjednodušších, jako je například zkouška vizuální. Dále jsou nedestruktivní zkoušky reprezentovány komplexnějšími metodami, jako jsou zkoušky prozářením rentgenovým zářením, či ultrazvukem. Zmíněné metody nám poskytují vizualizaci celým řezem svarového spoje. Jedná se však o metody finančně velmi náročné [12].

Každá z výše zmíněných technologických zkoušek nám slouží k určení jiných mechanických či fyzikálních vlastností. Při svařování technologií s hrotovým zážehem může vzniknout celá řada vad, které jsou nežádoucí a nepřípustné. Naším úkolem je tyto vady detekovat a sjednat nápravná opatření, aby se vadám mohlo zamezit.

4.1 Technologické zkoušky

Vizuální zkouška

Vizuální kontrola je nejjednodušší a zároveň i nejstarší kontrolou. Kontrolou se provádí detekce vad na povrchu materiálů. Jedná se o nejjednodušší možnost kontroly svarových ploch. Zkouška se provádí pouhým zrakem pracovníka, nebo za pomoci optických zvětšovacích skel [9].

Vizuální zkouška se opírá o dovednosti a zkušenosti pracovníka. Zkušenosti jsou získávány dlouholetou praxí, nebo proškolením odborným personálem. Aby byla vizuální zkouška objektivní a plnohodnotnou nedestruktivní zkouškou, může ji provádět jen certifikovaný pracovník dle certifikace Std-201/E/APC. Postup a průběh certifikace je popsán normou ČSN EN 473.

Školení zaměstnavatelem

Zaměstnavateli je umožněno provádět školení pracovníků. Výrobkové normy povolují pouze školení na vizuální kontroly. Zaměstnavatel vytvoří systém školení pracovníků a v případě certifikace dle ISO 3834-2 certifikační orgán prověřuje systém školení.

Nutností je stanovit osnovu programu školení a způsob ověření znalostí. Důležitou podmínkou pro nedestruktivní zkoušení vizuální metodou je zraková způsobilost dle ČSN EN 9712.

Zraková způsobilost

- Ostrost vidění nablízko musí umožňovat minimálně čtení Jaeger textu číslo 1 nebo písma Times New Roman N 4.5 ze vzdálenosti nejméně 30 cm jedním nebo oběma očima, bez korekce nebo s korekcí.
- Schopnost vidění barev musí být dostatečná k tomu, aby uchazeč mohl rozeznávat a rozlišovat kontrast mezi barvami nebo odstíny šedi, které se používají v NDT metodě podle určení zaměstnavatele.
- Testy ostrosti vidění nablízko jsou prováděny jedenkrát ročně a musí být ověřovány zaměstnavatelem.

Základní rozdělení vizuálních zkoušek

a) Přímá vizuální kontrola

Kontrolu je možné uskutečnit pouze tam, kde je opticky volně přístupná zkoumaná plocha a pracovník není nucen použít složitých zařízení [9].

b) Nepřímá vizuální kontrola

Kontrola je prováděna tam, kde operátor kontroly nemá přímý přístup ke kontrolovanému povrchu a je nucen užít kontrolních zařízení. Základní pomůckou je endoskop [9, 10].

Základní hledané jevy, které indikují změnu kontrastu mezi hledanými vadami a povrchem zkoumaného materiálu mohou být způsobeny:

- a) **Rozdíly v jasu.**
- b) **Rozdíly v barvě.**
- c) **Vrženým stínem [10].**

K bezpečnému určení rozhraní těchto odlišností v kontrastu na povrchu materiálu je nutno zabezpečit vyhovující osvětlení. Kontrolu je možno provádět pod denním nebo umělým světlem. U umělého osvětlení je důležitým faktorem svítivost a intenzita zdroje světla. Svítivost se udává v kandelách (cd) a intenzita zdroje světla v luxech (lx). Intenzita světla se musí pohybovat v rozmezí 500-1000 lx v závislosti na rozsahu zkoumané plochy [10, 14].

Závislost intenzity a svítivosti světelného zdroje se dále vztahuje k hodnotě kontrastu poskytovaného povrchem zkoumaného materiálu. Při zkoumání povrchu materiálu s vysokými hodnotami kontrastu není nutno užívat silného osvětlení a naopak [10].

Rozdělení osvětlení při vizuální kontrole

Difuzní osvětlení:

Kontrolovaná plocha je osvětlena neusměrněným zdrojem světla [10].

Usměrněné osvětlení světlého povrchu:

Zde je úhel sklonu snímače a zdroje světla shodný. Užití u kontroly malých ploch povrchu. Nebezpečí oslnění obsluhy [10].

Usměrněné osvětlení tmavého povrchu:

Úhel sklonu snímače a zdroje světla se neshoduje. Zpravidla se používá naklonění pod pravým úhlem. Vhodné pro určení trhlin a pórů na povrchu materiálu [10].

Pro svařování technologií svorníků s hrotovým zážehem se vizuální kontrola dále řídí podle těchto kritérií:

a) Tvarové specifikace.

Tvarové specifikace zahrnují veškeré informace, jako jsou délkové rozměry, úhly, velikost a tvar závitové plochy.

b) Barevnost svarové plochy.

Barevností svarové plochy se určuje tepelná deformace ve svarovém spoji a tepelně ovlivněná oblast.

c) Umístění dle výkresové dokumentace.

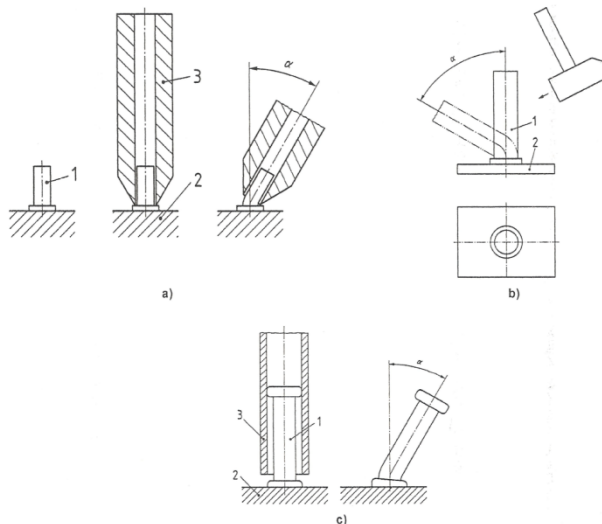
Umístění přivařovaného svorníku podle výkresové dokumentace, nebo za pomoci šablon.

d) Určení kruhovitosti a pravidelnosti rozstříku sváru [1].

Zkouška ohybem

Jedná se o jednoduchou technologickou zkoušku, kterou mohou vykonávat pracovníci přímo na svařovacím pracovišti. Výstupem této zkoušky jsou přibližné výsledky pro ověření svařovacích parametrů. Pokud pracovník zjistí vizuální zkouškou vzniklé vady, je nutno ohybovou zkoušku konat tak, aby zkoušená plocha byla v tažné oblasti ohybové zkoušky. Zkoušený svorník, který přesáhne u ohybové zkoušky úhel $\alpha = 30^\circ$, nesmí být již rovnán. Při překročení úhlu $\alpha = 30^\circ$ dochází k výraznému zvýšení stříhové odolnosti. Ohybová zkouška může být prováděna dvojím způsobem [1].

a) Přivařený svorník se ohne za pomoci ohýbací trubky do úhlu $\alpha = 30^\circ$

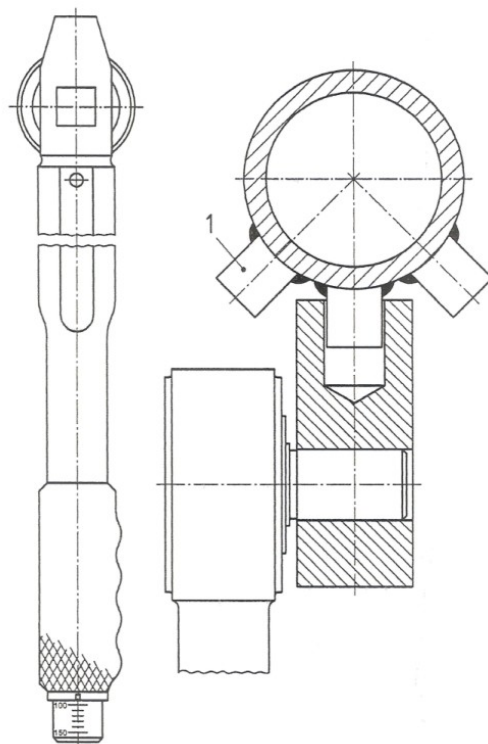


Obr. 12. – Zkouška ohybem na $\alpha = 30^\circ$ [1]

Legenda

- 1 svorník
- 2 základní materiál
- 3 nástroj (přípravek)
- α úhel ohybu

- b) Svorník se namáhá ohýbáním za použití momentového klíče pod mezí kluzu (hodnoty ohybového momentu jsou uvedeny v normě ČSN ISO 1455 [1]).



Obr. 13. – Zkouška momentovým klíčem [1]

Legenda

1 svorník

Hodnoty úhlu α a momentů se vždy vztahují k rozměrovým specifikacím přivařovaného svorníku. Tento druh metody zkoušení se užívá u charakteru vzniklých vad, jako jsou studené sváry, zúžený průměr sváru a lom ve sváru.

Firma Bühler se pro ohybovou zkoušku řídí tabulkou níže.

Tab. 4. Hodnoty ohybového momentu [26]

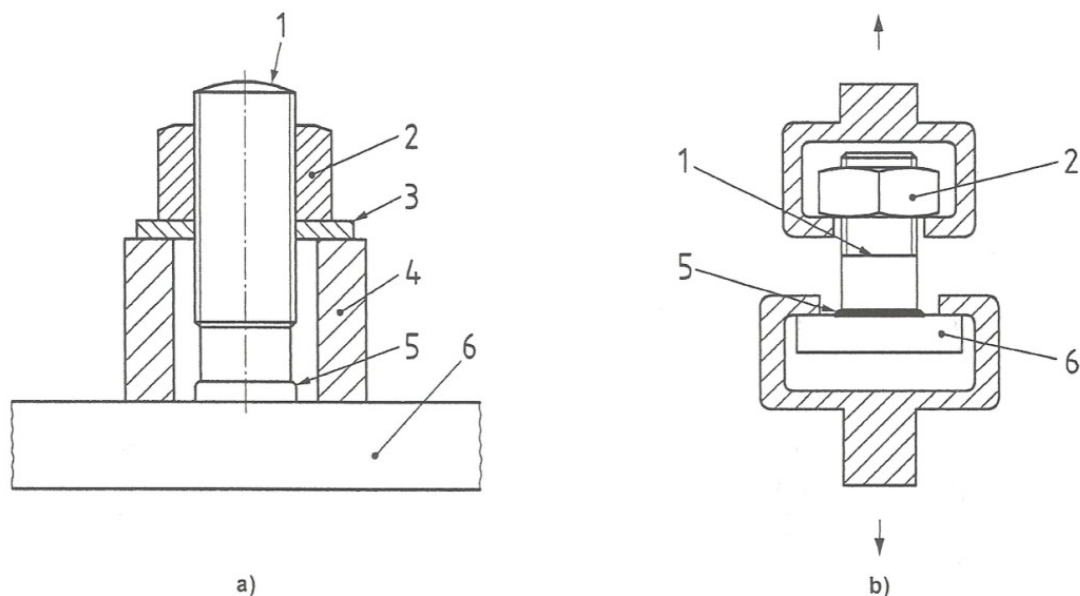
	Tloušťka plechu		Průměr díry pro matice		Zkušební síla [Nm]	Tolerance [Nm]
	min.	max.	ČSN 021455	DIN 929		
M3	0,8	2,5	-	4,5	8	0,8
M4	0,8	3	7	6	12	1,2
M5	0,8	3,5	7	7	15	1,2
M6	0,8	4	8	8	20	1,6
M8	1	4,5	10	10,5	40	2
M10	1,5	5	13	12,5	85	3,2
M12	1,5	5	14	14,8	115	4

Zkouška tahem

Zkouška je prováděna za užití vhodného přípravku. Přivařený svorník je namáhán osovou silou, která je vyvíjena na svarový spoj. Osová síla se navyšuje až do přetržení svorníku od základního materiálu. Jedná se tedy o zkoušku destruktivní [1].

Výstupem této zkoušky je naměřená hodnota, která je nutná k překročení meze pevnosti přivařeného svorníku. Nutností této zkoušky je svorník se závitovou plochou, za níž je upevněn přípravek, který je podroben tahové síle [1].

Zkouška tahem



Obr. 15. – Zkouška tahem [1]

Legenda

- 1 svorník
- 2 ocelová matice
- 3 podložka
- 4 pouzdro
- 5 výronek
- 6 základní materiál

Zkouška krutem

Zkouška se provádí za použití převlečné matice, která je dotažena na svorník. Za pomoci krouticího momentu se namáhá svarový spoj. Kroutící moment je určen dle velikosti přivařovaného svorníku. Po podrobení přivařeného svorníku krouticímu momentu se hodnotí vznik trhlin ve svarové oblasti.

Velikost krouticího momentu je dána v tabulce níže z normy ČSN EN ISO 14555 v závislosti na průměru svařovaného svorníku a tloušťce základního materiálu [1].

Zjišťované vlastnosti

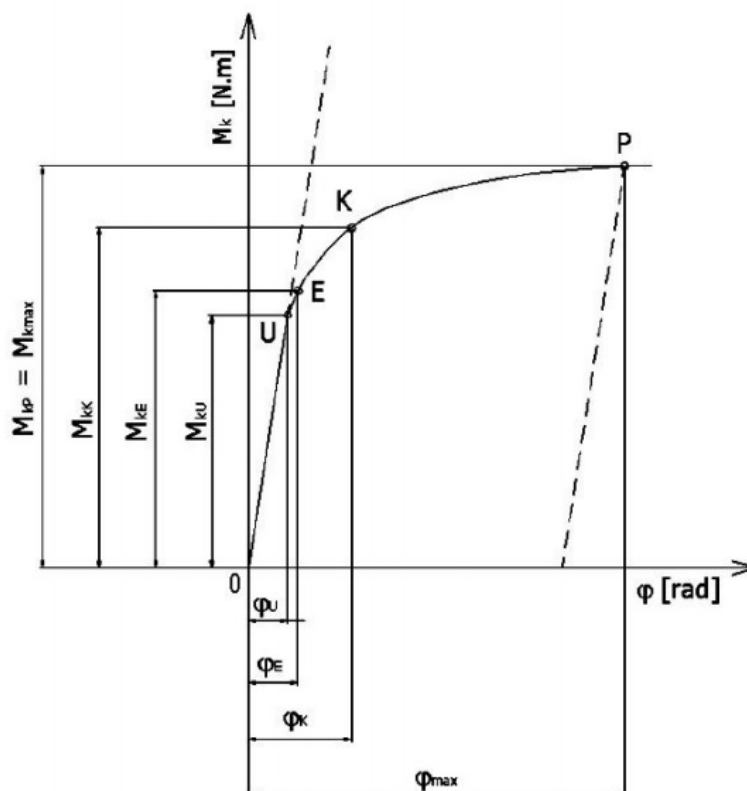
Maximální napětí v krutu: $R_{mk} = \frac{M_{kmax}}{W_k}$ [MPa]

Maximální kroutící moment: $M_{kmax} = F_{max} \cdot d$ [Nm]

Průřezový modul v krutu: $W_k = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$ [mm³]

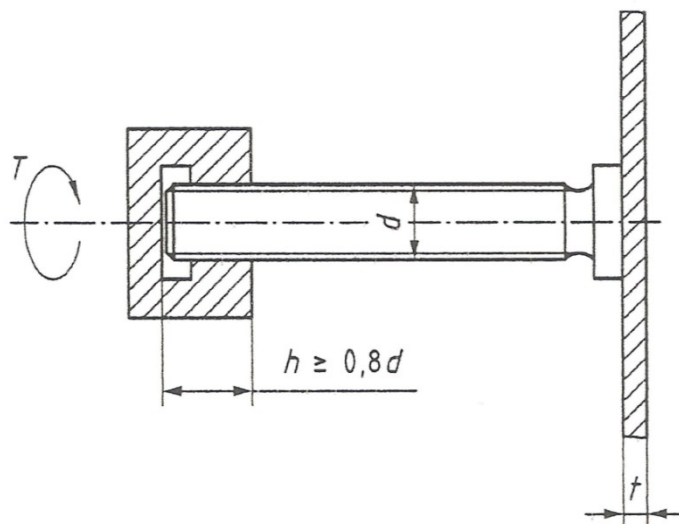
Zkos: $\gamma = \frac{\varphi \cdot r}{L}$ [-] [11]

Grafický průběh zkoušky krutem



Obr. 16. – Grafická zkouška krutem [11]

Zkouška krutem



Obr. 17. – Zkouška krutem [1]

Legenda

- d průměr svorníku
- h délka části matice se závitem
- t tloušťka základního materiálu
- T krouticí moment

Makroskopická kontrola

Jedná se o zkoušecí metodu destruktivní, předmětem zkoumání je makroskopická struktura v příčném řezu svarového spoje. V první řadě se zkoumaný vzorek rozřízne v příčném řezu. Následuje vybroušení, leštění, popřípadě naleptání zkoumaného povrchu [12].

Naleptání zkoumaného povrchu materiálu poskytne hodnocení charakteru tepelně ovlivněné oblasti a hranice zatavení. Makroskopická zkouška se dá provádět i bez nutnosti naleptávacího procesu. Taková zkouška nám poté napomáhá k určení hodnocení tvaru sváru, šířky sváru, nebo jen k vizuální kontrole v příčném řezu sváru [12].

Jelikož se jedná o makroskopickou kontrolu, optická kontrola se provádí lidským okem, nebo za pomoci optických zvětšovačů s třiceti násobným zvětšením [12].

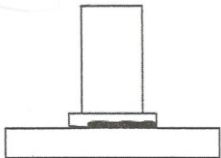
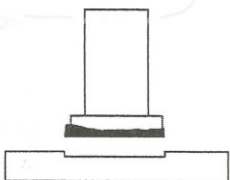
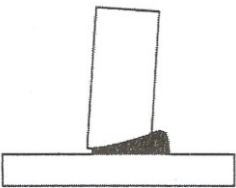
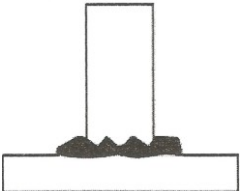
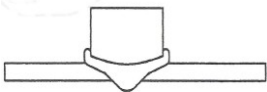
Makroskopická zkouška bude činit nedílnou část naší práce při ověřování experimentálních metod pro optimalizaci procesu svařování s hrotovým zážehem.

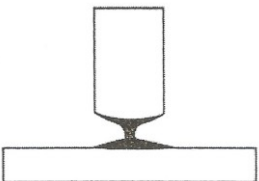
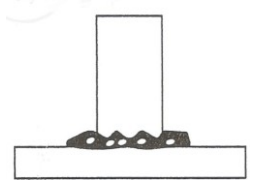
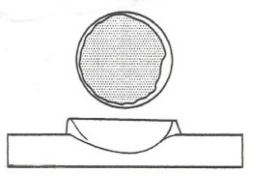
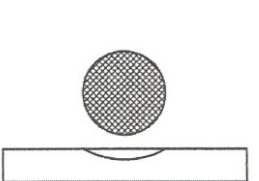
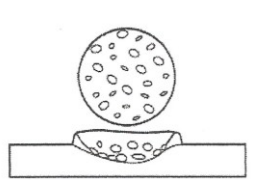
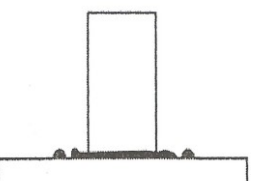
4.2 Vzniklé vady při technologii svařování s hrotovým zážehem

V (tab. 5.) jsou vzniklé vady. Obsahem tabulky je popis příčiny vzniku dané vady včetně nápravných opatření, které jsou nutné k odstranění těchto vad.

Jedná se o popis vad, které jsou způsobeny špatnými svařovacími parametry, nebo zanedbáním zásad pro svařování, například nedokonalým odmaštěním svařovaných ploch.

Tab. 5. Vzniklé vady při svařování s hrotovým zážehem [1]

Číslo vady	Vzhled vzniklé vady	Popis vzniklé vady	Popis příčiny vady	Nápravná opatření
1		Částečný svarový spoj.	Nedostatečný svařovací výkon. Nesprávné určení polarity svařování.	Nutné navýšení svařovacího proudu. Proloužení svařovací doby. Změnění polarity svařování.
2		Nedostatečné protavení sváru.	Nedostatečný tepelný příkon. Nesprávné určení polarity svařování.	Nutné navýšení tepelného výkonu. Změnění polarity svařování.
3		Výronek mimo osu svorníku.	Výskyt foukání oblouku.	Nedostatečná symetrie zemních svěrek a vyrovnávacích hmot.
4		Nepravidelný zvětšený výronek.	Příliš dlouhá svařovací doba.	Nutné zkrácení svařovací doby.
5		Propálení.	Svarová lázeň se protavena přes základní materiál.	Nutné omezení tepelného příkonu, nebo navýšení tloušťky základního materiálu.

6		Zúžený průměr ve sváru.	Chybné nastavení zdvihu nebo příliš vysoký svařovací výkon.	Upravení svařovacího výkonu a nastavení správného zdvihu.
7		Výskyt pórů ve výrobku.	Okysličování svarové lázně, nebo nečistý svařovaný povrch.	Použití správného druhu ochranného plynu či upravení proudění množství ochranného plynu.
8		Studeného spoje v přechodové oblasti.	Ponoření za studena.	Nutnost ponoření za tepla.
9		Lom v tepelně ovlivněné oblasti.	Rychlost ochlazování příliš vysoká.	Proloužení doby svařování. Možnost aplikování předehřevu.
10		Lom ve sváru za výskutu pórovitosti.	Nízký svařovací výkon. Nečistý povrch svařovaných ploch.	Navýšení svařovacího proudu, nebo doby svařování. Nutno očistit svařované plochy.
11		Rozsáhlý rozstřík kolem svaru.	Příliš vysoký svařovací výkon. Nízká rychlost ponoření.	Nutní snížení svařovacího výkonu. Navýšení rychlosti ponoření.

4.3 Fotodokumentace vzniklých vad

Na (obr. č. 18.) je zřejmá výrazná teplem ovlivněná oblast v okolí svarového spoje. Výronek je nepravidelný a celkové zabarvení svarové plochy nám poukazuje na strukturální přeměnu základního materiálu.



Obr. 18. – Foto vady 1

Na (obr. 19.) je možno vidět nedostatečné provaření přivařovaného svorníku. Svorník jsme podrobili destruktivní metodě zkouškou ohybem a výsledek je na první pohled zřejmý. V tomto případě je nutná změna svařovacího výkonu či prodloužení doby svařování.



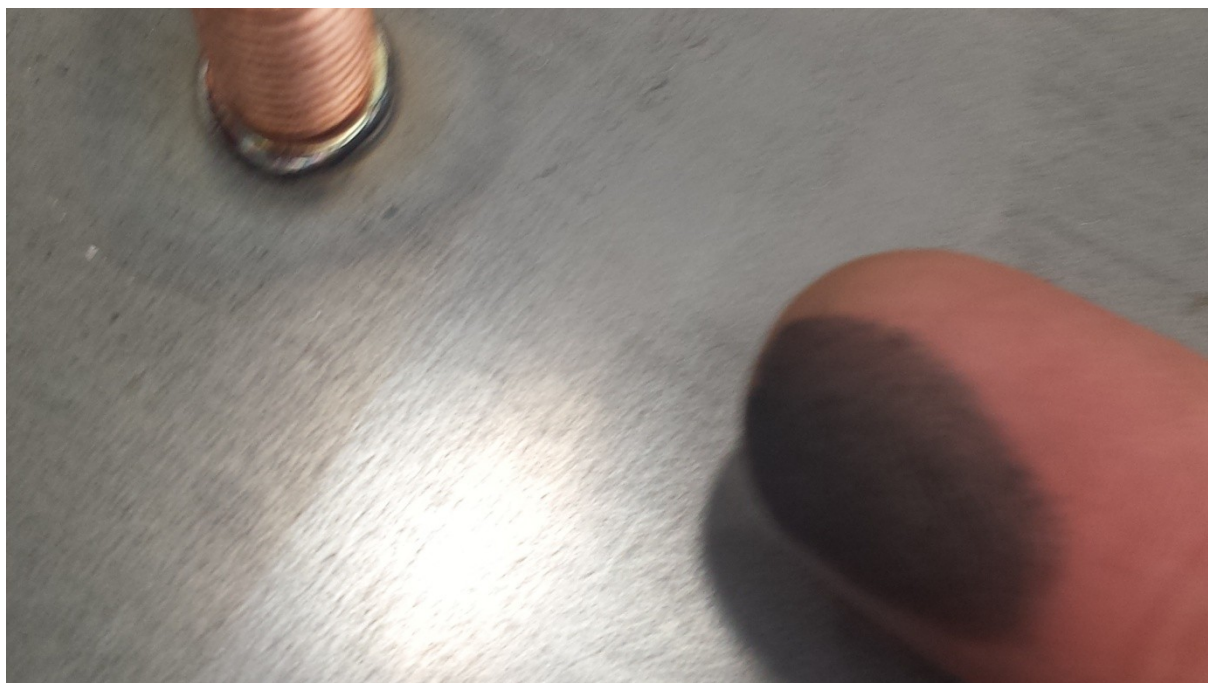
Obr. 19. – Foto vady 2

Na (obr. 20.) je viditelný znatelný rozstřík kolem sváru.



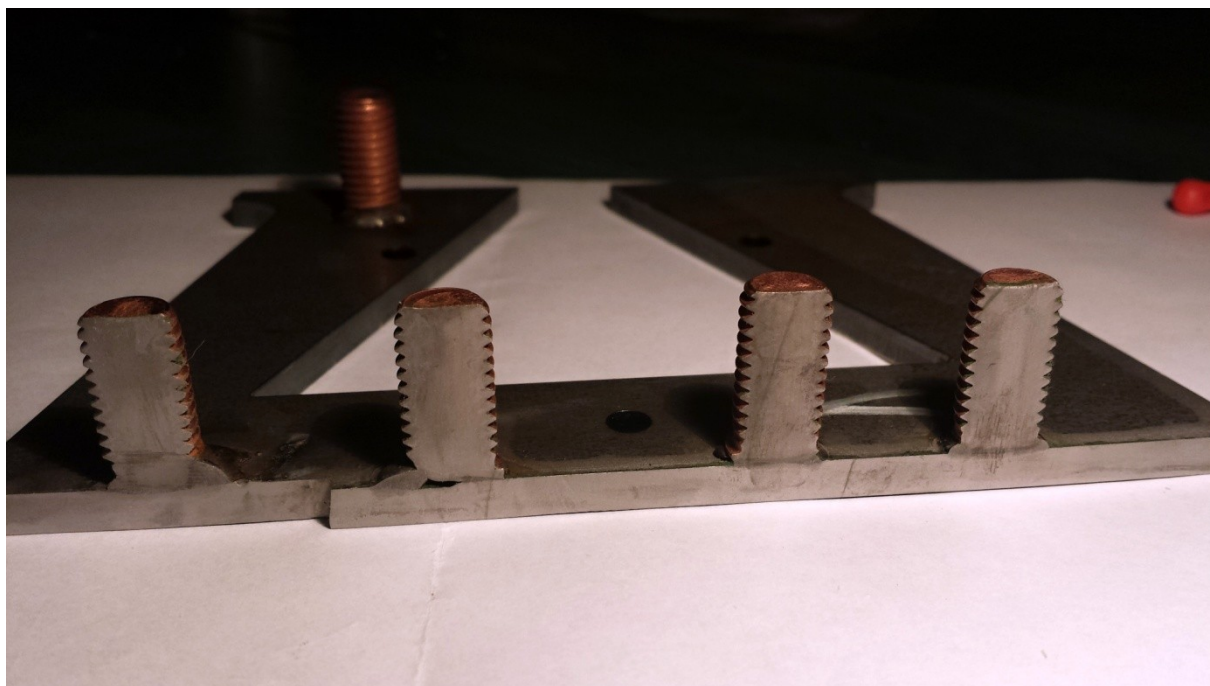
Obr. 20. – Foto vady 3

Na (obr. 21.) je znázorněné nedostatečné očištění a odmaštění svařovaných materiálů před samotným svařováním. Nečistoty vedou ke snížení kvality sváru, která je zapříčiněna pórovitostí svarového spoje.



Obr. 21. – Foto vady 4

Na (obr. 22.) je možno vidět makroskopickou zkoušku příčným řezem přivařovaných svorníků rozdílných svařovacích parametrů.



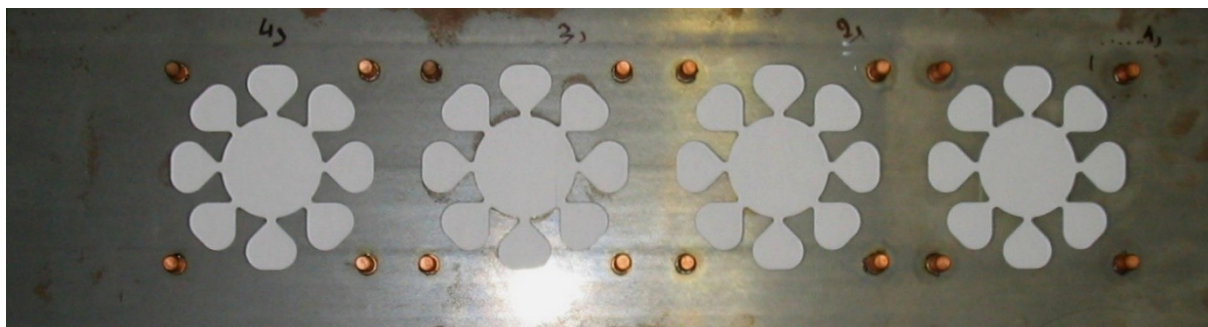
Obr. 22. – Svařovací parametry - metalografická zkouška

5 Experimentální ověření vlastností svarových spojů

V experimentální části je hlavním úkolem navrhnout svarový spoj, který bude odolávat vlivům, které na přivařený svorník klade tlaková síla skrze filtrační válec. K experimentu byl užit výňatek dna víka filtrační nádoby. Tento polotovar byl volen v závislosti na výskytu odlehčení, které je znázorněno na výkresu podsestavy svařence.

Navrhnutým polotovarem byl vytvořen adekvátní vzorek svařované konstrukce, který je totožný s výslednou svařovací konstrukcí. Tím byla zaručena objektivnost experimentálního ověření vlastností svarových spojů.

Celkový zkoumaný vzorek obsahuje čtyři části. Tyto části mají vždy odlišné svařovací parametry, nebo změněnou povrchovou úpravu materiálu. Jednotlivý vzorek obsahuje čtyři přivařené svorníky M10x20 mm, z nichž vždy tři svorníky byly podrobeny ohybové zkoušce. Čtvrtý svorník podrobíme metalografické zkoušce.



Obr. 23. – Polotovar zkušebního spoje

Na (obr. 23.) je možno vidět navrhnutý polotovar, který následně bude zkoumán ohybovou zkouškou a metalografií. Jak je možno vidět, na polotovaru jsou obsažena přesná odlehčení dle tvarové dokumentace. Tato odlehčení byla vytvořena za pomoci laseru stejně tak, jak je tomu u sériově prováděné konstrukce.

Tedy veškeré fyzikální a chemické vlastnosti jsou zaručeny jak použitím základního materiálu S420MC-0 dle EN 10148-2, svorníku PT M10x20 dle ČSN ISO 13918, tak i laserovým opracováním, které zanechalo na základním materiálu v místě řezu teplotně ovlivněnou oblast.

5.1 Svařovací parametry

Svařovací parametry tvoří nedílnou součást vytvoření kvalitního svarového spoje. Námi navrhnuté svařovací parametry se odvíjejí od svařovacích parametrů firmy Bühler. Svařovací parametry, které nyní užívá firma Bühler, jsou obsaženy na zkušebním vzorku č. 1.. U vzorku č. 1. byla navíc aplikována povrchová úpravu odmaštěním.

Nastavení svařovacích parametrů u jednotlivých zkušebních vzorků je znázorněno v tab. 6.

Tab. 6. Svařovací parametry

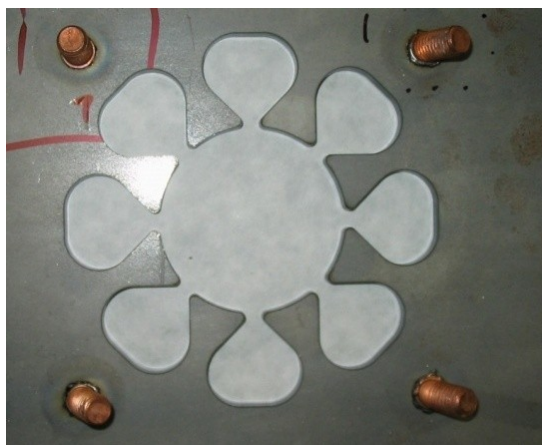
Zkušební vzorek	Svařovací proud [A]	Svařovací čas [ms]	Doba přitlaku [ms]	Průtok ochranného plynu [l/min.]
1.	840	110	10.5	1600
2.	800	110	11.8	1600
3.	830	110	11.8	1600
4.	820	120	12	1600

5.2 Zkouška ohybem

Druhou částí experimentální metody ověření svařovacích parametrů je podrobení zkušebního polotovaru ohybové zkoušce. Zkouška se provádí za pomoci ohýbací trubky, která je nasazena na přivařený svorník. Svorník je ohnut do úhlu α 30°. Po zkoušce se vizuálně zkoumá možný vznik trhlin ve svarové oblasti. Přivařený svorník projde úspěšně ohybovou zkouškou za předpokladu absence trhlin ve svarovém spoji.

Ze zkušebního vzorku, který obsahuje čtyři přivařené svorníky, se vždy ohnou pouze tři svorníky.

Zkušební vzorek č. 1.



Obr. 24. – Polotovar zkušebního spoje č. 1.



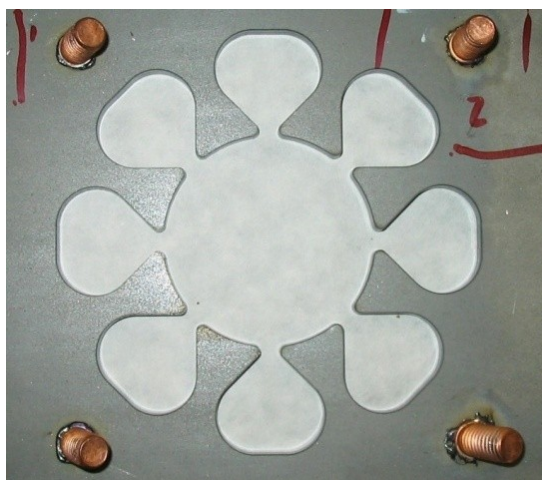
Obr. 25. – Detail polotovaru zkušebního spoje č. 1.

Zkušební vzorek č. 1. podroben ohybové zkoušce vyhověl. Bez výskytu trhlin nebo poškození v oblasti svarového spoje. Poškození je možno vidět pouze na samotném svorníku M10x20 mm. Dále jsme podrobili svorník destruktivní ohybové zkoušce. I této zkoušce svařovací parametry vyhověly. Došlo k přetržení svorníku mimo svarovou oblast.

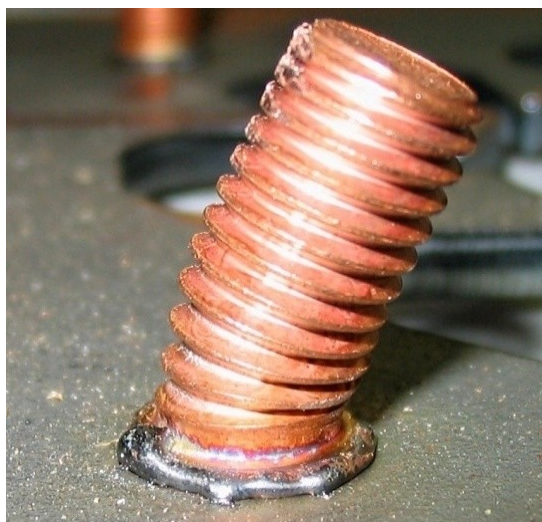


Obr. 26. – Přetržení zkušební vzorku č. 1.

Zkušební vzorek č. 2.



Obr. 27. – Polotovar zkušebního spoje č. 2.



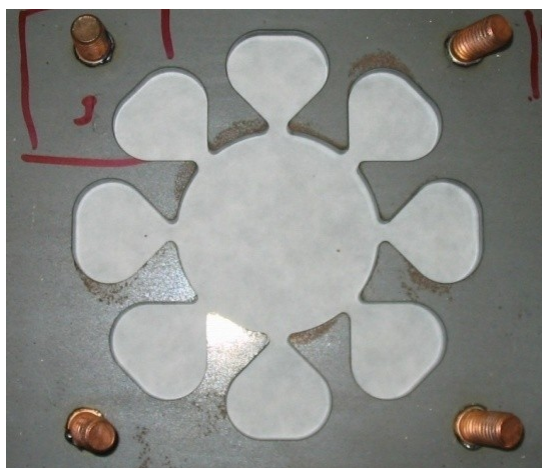
Obr. 28. – Detail polotovaru zkušební spoje č. 2.

Zkušební vzorek č. 2. podroben ohybové zkoušce vyhověl bez výskytu trhlin nebo poškození v oblasti svarového spoje. Poškození je možno vidět pouze na samotném svorníku M10x20 mm. Dále jsme podrobili svorník destruktivní ohybové zkoušce. I této zkoušce svařovací parametry vyhověly. Došlo k přetržení svorníku mimo svarovou oblast.



Obr. 29. – Přetržení zkušební vzorku č. 2.

Zkušební vzorek č. 3.



Obr. 30. – Polotovar zkušební spoje č. 3



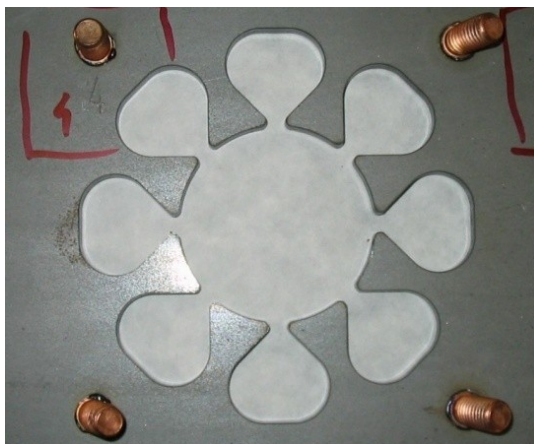
Obr. 31. – Detail polotovaru zkušebního spoje č. 3.

Zkušební vzorek č. 3. podroben ohybové zkoušce vyhověl bez výskytu trhlin nebo poškození v oblasti svarového spoje. Poškození je možno vidět pouze na samotném svorníku M10x20 mm. Dále jsme podrobili svorník destruktivní ohybové zkoušce. I této zkoušce svařovací parametry vyhověly. Došlo k přetržení svorníku mimo svarovou oblast.



Obr. 32. – Přetržení zkušebního vzorku č. 3.

Zkušební vzorek č. 4.



Obr. 33. – Polotovár zkušebního spoje č. 4.



Obr. 34. – Detail polotovaru zkušebního spoje č. 4.

Zkušební vzorek č. 4. podroben ohybové zkoušce vyhověl bez výskytu trhlin nebo poškození v oblasti svarového spoje. Poškození je možno vidět pouze na samotném svorníku M10x20 mm. Dále jsme podrobili svorník destruktivní ohybové zkoušce. I této zkoušce svařovací parametry vyhověly. Došlo k přetržení svorníku mimo svarovou oblast.

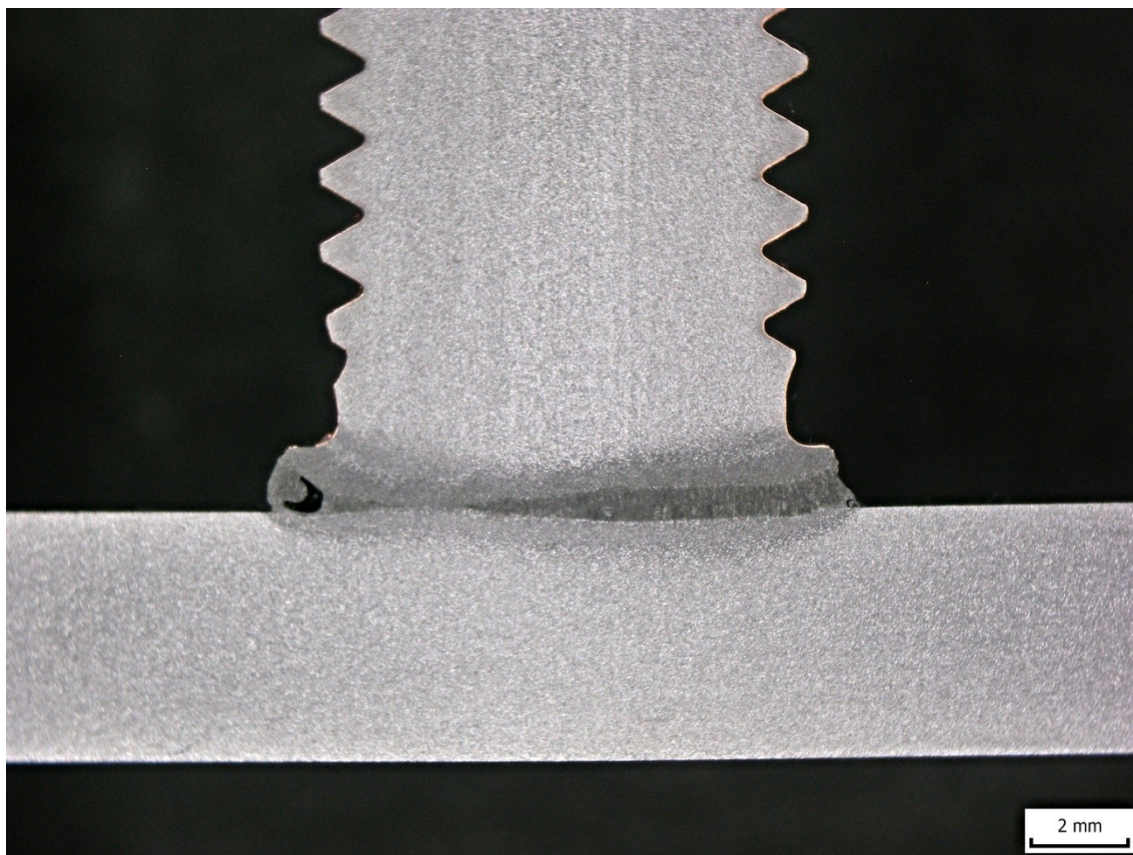


Obr. 35. – Přetržení zkušební vzorku č. 4.

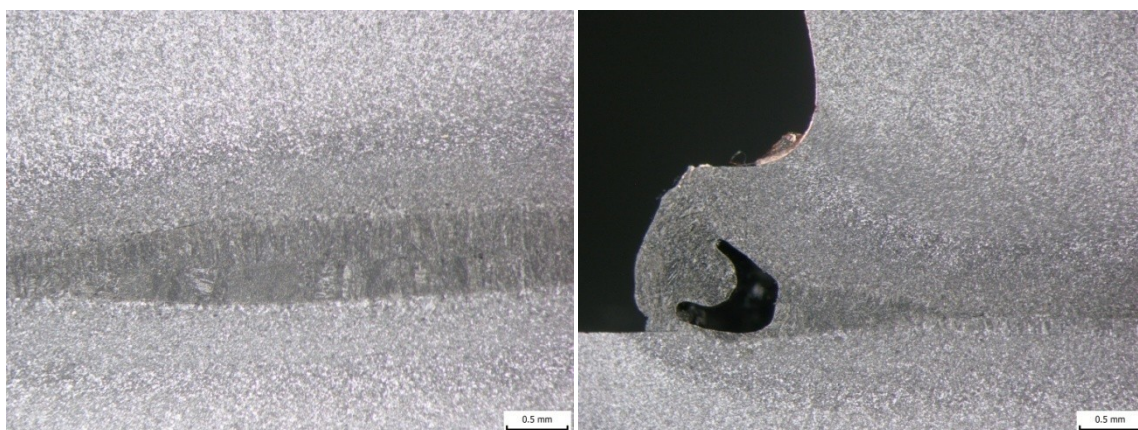
5.3 Rozbor metalografie

Zkušební vzorek č. 1.

Na (obr. 36.) je výrazná trhlina ve svarovém spoji. Svarový spoj je nerovnoměrný včetně mikrotrhlin. Tyto vady jsou však přípustné, jelikož zkoušený vzorek prošel vizuální i ohybovou zkouškou.



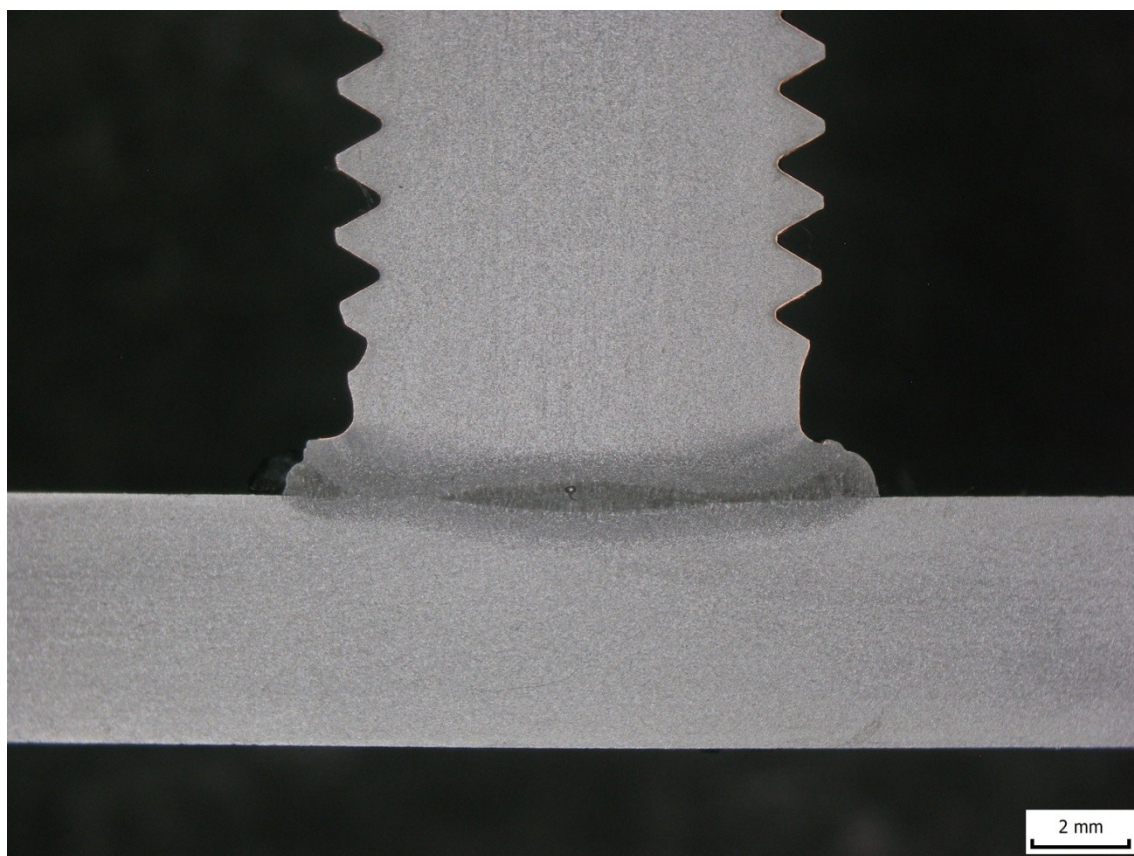
Obr. 36. – Metalografie vzorek č. 1.



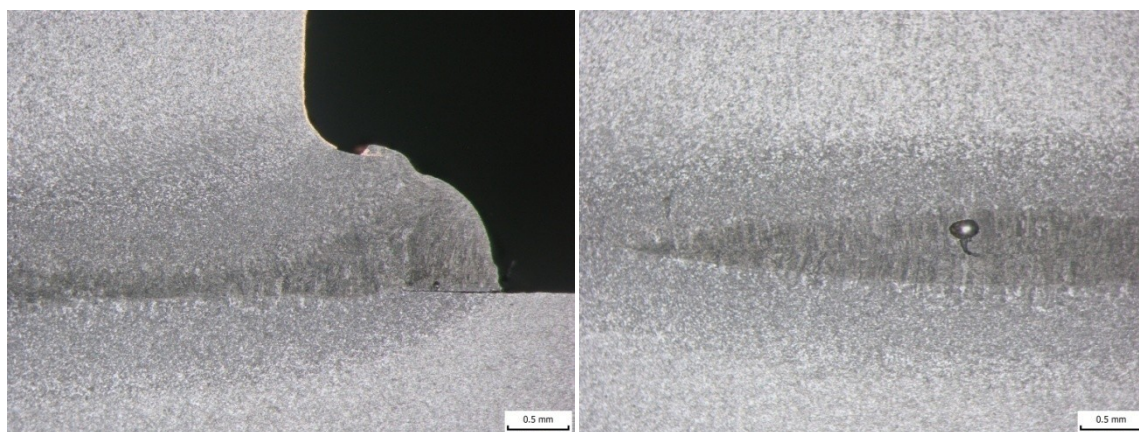
Obr. 37. – Detail metalografie vzorku č. 1.

Zkušební vzorek č. 2.

Na (obr. 38.) je výrazná trhлина ve svarovém spoji. Svarový spoj je nerovnoměrný včetně pórů zapříčiněných nadměrnou oxidací při svařování. Vady jsou však přípustné, jelikož zkoušený vzorek prošel vizuální i ohybovou zkouškou.



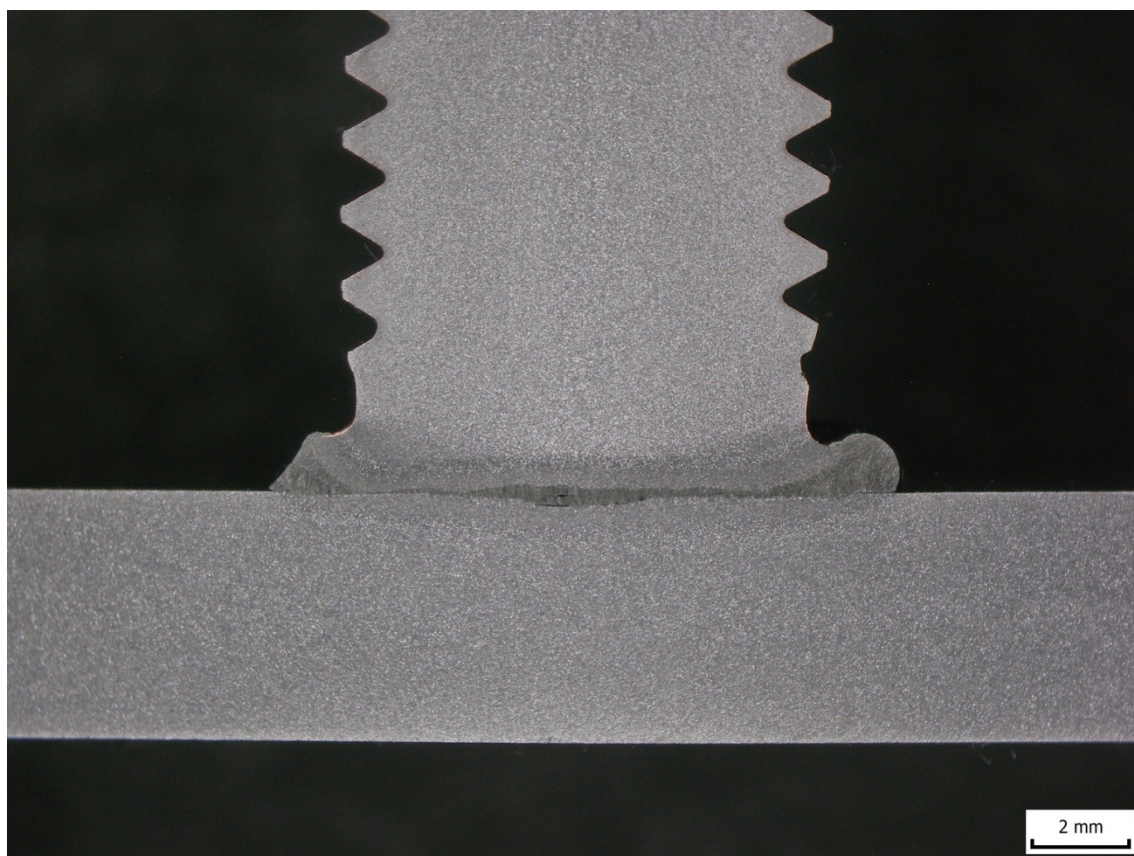
Obr. 38. – Metalografie vzorek č. 2.



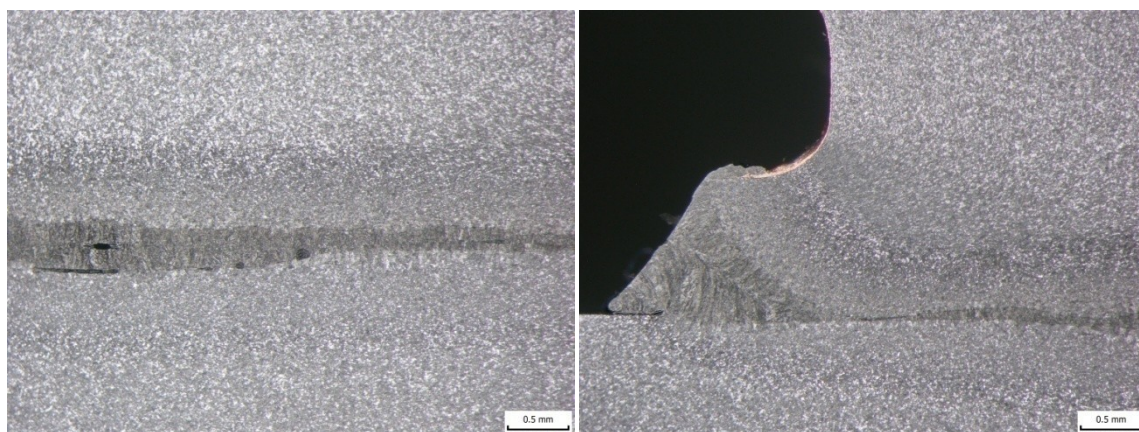
Obr. 39. – Detail metalografie vzorku č. 2.

Zkušební vzorek č. 3.

Na (obr. 40.) jsou trhliny ve svarovém spoji. Svarový spoj je nerovnoměrný včetně pórů zapříčiněných nadměrnou oxidací při svařování. Vady jsou však přípustné, jelikož zkoušený vzorek prošel vizuální i ohybovou zkouškou.



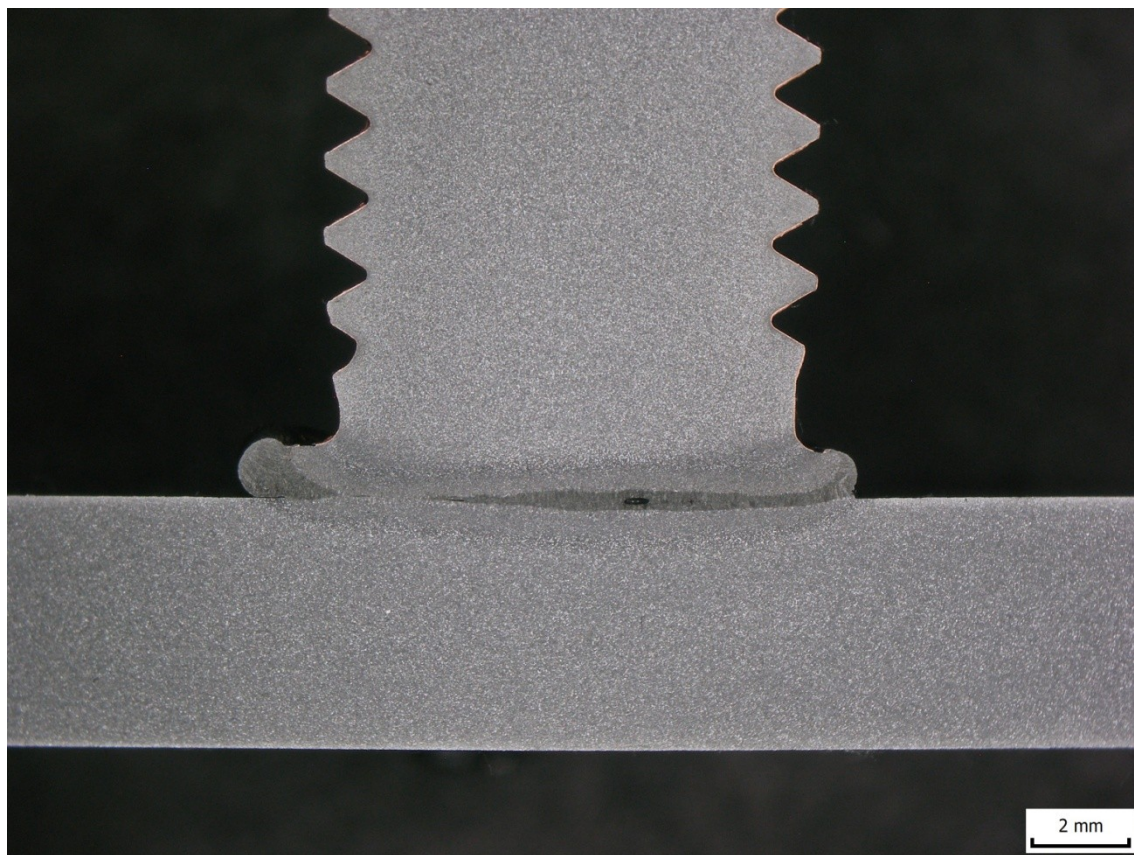
Obr. 40. – Metalografie vzorek č. 3.



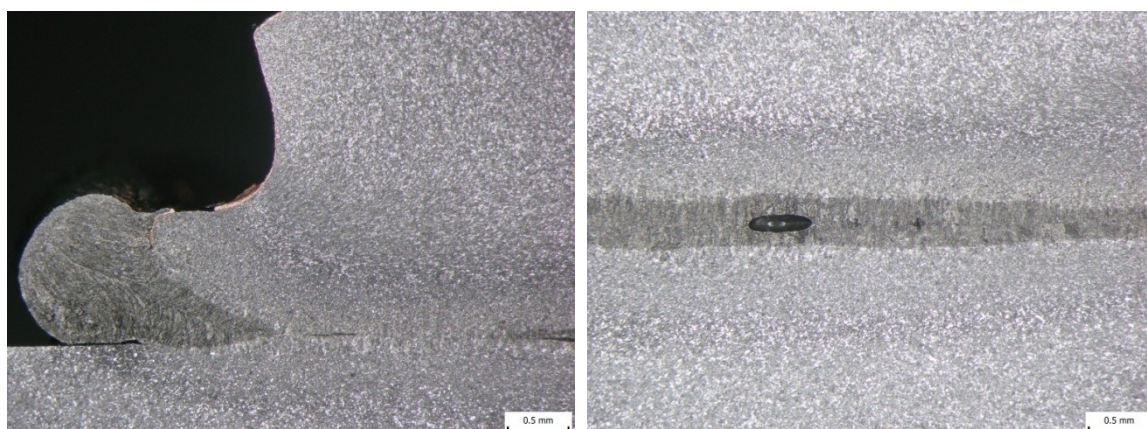
Obr. 41. – Detail metalografie vzorku č. 3.

Zkušební vzorek č. 4.

Na (obr. 42.) jsou trhliny ve svarovém spoji. Svarový spoj je nerovnoměrný včetně pórů zapříčiněných nadměrnou oxidací při svařování. Projevilo se výrazné vytlačení nataveného materiálu v levé části kořenové oblasti. Tyto vady jsou však přípustné, jelikož zkoušený vzorek prošel vizuální i ohybovou zkouškou.



Obr. 42. – Metalografie vzorek č. 4



Obr. 43. – Detail metalografie vzorku č. 4.

6 Diskuse dosažených výsledků

Výsledky, které byly obdrženy z ohybové zkoušky jsou vyhovující. Tedy navržené svařovací parametry jsou vhodné pro technologii přivařování svorníků hrotovým zážehem na námi použité materiály. Všechny čtyři zkoumané vzorky jsme dále podrobili metalografické zkoušce, kde jsme také neshledali žádné nepřípustné vady ve svarovém spoji.

Nejlepších výsledků dosáhl zkoušený vzorek č. 3., který obsahuje vnitřní vady ve svarovém spoji, avšak jsou to vady přípustné a běžně vyskytující se u technologie svařování kondenzátorovým zážehem. Je to způsobeno zejména velmi krátkým svařovacím časem.

Možnost výskytu poškození přivařovaných svorníků a následného přetržení v provozu může být zapříčiněna dlouhodobým namáháním celkové sestavy filtrační nádoby. Filtrační nádoba není klidným tělesem a vykazuje vibrace. Ty mohou po dlouhodobém namáhání vést k rozšíření mikrotrhlin a pórů. To zapříčiní přetržení vyhovujícího svorníku přivařeného technologií svařování (785). Zde by bylo nutné přehodnocení počtu nosných svorníků na filtrační válec, nebo svorníky dimenzovat na větší průměr.

7 Návrh opatření pro výrobu včetně kontrol

Nápravná opatření, která vedou k optimalizaci přivařování svorníků kondenzátorovým výbojem.

Technické požadavky na svařovací zdroj BMK-16i

Pro optimální svařovací výsledky je nutno dbát na technický stav svařovací soustavy. Kabele zemnění jsou důležité pro optimální tok elektrického proudu a zamezení tzv. bočení elektrického proudu. Při poškození zemnicích svorek (ukončení kabelů zemnění) opálením dojde ke snížení efektivnosti sváření. Takové zemnicí kabely vykazují elektrické ztráty a ty zapříčiňují změnu výsledného svarového spoje. Užití poškozených kabelů zemnění je nepřípustné.

Pro rovnoměrné foukání oblouku je nutné volit umístění kabelu zemnění za pomoci upevňovacích svorek úhlopříčkou na svařovaný svorník. Nedoporučuje se užití jiného druhu zemnění, například užití vodiče svařovací pistole. Úhlopříčkové zemnění vytvoří rovnoměrné magnetické pole pro soustředné foukání elektrického oblouku. Není nutné pro jednotlivé svorníky přenastavovat kabely zemnění, avšak pro dosažení maximálních výsledků je to optimální možnost [22].

Pro uzavření elektrického obvodu je potřeba spolu s kabely zemnění také i vodič svařovací pistole. Součástí svařovací pistole je upínací kleština, do které se vkládá přivařovaný svorník. Skrze upínací kleštinu protéká elektrický proud, který je potřebný k vytvoření elektrického oblouku pro svařování. Je tedy nutno dbát na kondici upínací kleštiny [22].

Odmaštění svařovaných součástí

Pro optimální přivařování svorníků je velmi důležitá úprava svařovaných ploch. Pro svařování je nežádoucí vlhkost a nečistoty ulpěné na povrchu svařovaných ploch, které tvoří pórovitost ve svarovém spoji. Pro odmaštění svařovaných svorníků volíme strojní odmaštění. Pro úpravu základního materiálu by technologie strojního odmaštění znamenala rozměrnou odmašťovací linku, což by bylo finančně velmi náročné. Odmaštění tedy provádíme manuálně. V první řadě odstraníme hrubé nečistoty z povrchu materiálů a poté provedeme odmaštění organickými rozpouštědly, které se vyznačují schopností odmaštění a odpařitelností, což je pro naši technologii vhodné. [20, 21].

Svařovací parametry

Svařovací parametry je nutno měnit v závislosti na charakteru vzniklé vady. Vady jsou popsány v (Tab. 7.) včetně nápravných opatření. Z experimentální části práce volíme jako nejvhodnější svařovací parametry ze zkušební vzorku č. 3.

Tab. 7. Optimalizace svařovacích parametrů

Svařovací proud [A]	Svařovací čas [ms]	Doba přitlaku [ms]	Průtok ochranného plynu [l/min.]
830	110	11.8	1600

Kontroly svarových spojů

Vizuální kontrola

- První stupeň kontroly, více v kapitole 4.1. Technologické zkoušky,
- kontrolu provádět na všech svařovaných svornících,
- při nalezení vady podrobit přivařovaný svorník dalšímu stupni zkušební kontroly.

Vizuální zkouška se opírá o dovednosti a zkušenosti pracovníka. Zkušenosti jsou získávány dlouholetou praxí nebo proškolením odborným personálem. Aby byla vizuální zkouška objektivní a plnohodnotnou nedestruktivní zkouškou, může ji provádět jen certifikovaný pracovník dle certifikace Std-201/E/APC. Postup a průběh certifikace je popsán normou ČSN EN 473[27, 28].

Školení zaměstnavatelem

Zaměstnavateli je umožněno provádět školení pracovníků. Výrobní normy povolují pouze školení na vizuální kontroly. Zaměstnavatel vytvoří systém školení pracovníků a v případě certifikace dle ČSN EN ISO 3834-2 certifikační orgán prověřuje systém školení.

Nutno stanovit osnovu, program školení a způsob ověření znalostí. Důležitou podmínkou pro nedestruktivní zkoušení vizuální metodou je zraková způsobilost dle ČSN EN 9712 [27,28].

Zraková způsobilost

- Ostrost vidění nablízko musí umožňovat minimálně čtení Jaeger textu číslo 1 nebo písma Times New Roman N 4.5 ze vzdálenosti nejméně 30 cm jedním nebo oběma očima, bez korekce nebo s korekcí.

- Schopnost vidění barev musí být dostatečná k tomu, aby uchazeč mohl rozeznávat a rozlišovat kontrast mezi barvami nebo odstíny šedi, které se používají v NDT metodě podle určení zaměstnavatele.
- Testy ostrosti vidění nablízko jsou prováděny jedenkrát ročně a musí být ověřeny zaměstnavatelem.

K bezpečnému určení rozhraní těchto odlišností v kontrastu na povrchu materiálu je nutno zabezpečit vyhovující osvětlení. Kontrolu je možno provádět pod denním nebo umělým světlem. U umělého osvětlení je důležitým faktorem svítivost a intenzita zdroje světla. Svítivost se udává v kandelách (cd) a intenzita zdroje světla v luxech (lx). Intenzita světla se musí pohybovat v rozmezí 500-1000 lx v závislosti na rozsahu zkoumané plochy [10, 14].

Pro svařování technologií svorníků s hrotovým zážehem se vizuální kontrola dále řídí podle těchto kritérií:

a) Tvarové specifikace.

Tvarové specifikace zahrnují veškeré informace, jako jsou délkové rozměry, úhly, velikost a tvar závitové plochy.

b) Barevnost svarové plochy.

Barevností svarové plochy se určuje tepelná deformace ve svarovém spoji a tepelně ovlivněné oblasti.

c) Umístění dle výkresové dokumentace.

Umístění přivařovaného svorníku podle výkresové dokumentace, nebo za pomoci šablon.

d) Určení kruhovitosti a pravidelnosti rozstříku sváru [1].

Zkouška ohybem

- Druhý stupeň kontroly, více v kapitole 4.1. Technologické zkoušky,
- přivařený svorník ohnout do úhlu α 30°,
- při překročení úhlu α 30° svorník nesmí být rovnán
- nedoporučuje se provádět ohybovou zkoušku na vyráběné konstrukci, při ohnutí a následném narovnání svorníku dojde k vytvoření vrubu v místě závitové plochy (nebezpečí přetržení svorníku dlouhodobým namáháním),
- počet zkoušených svorníků 20 ks. (Počet kusů stanoven pro nové seřízení svařovacího automatu)

- počet zkoušených svorníků na vyráběném dílci 10 ks. Nedoporučuje se provádět metodu zkoušení na vyráběném dílci (doporučení na testovací vzorek).

Zkouška krutem

- Třetí stupeň kontroly, více v kapitole 4.1. Technologické zkoušky,
- přivařený svorník podrobit krouticímu momentu,
- hodnoty ohybového momentu jsou uvedeny v normě ČSN ISO 1455,
- počet zkoušených svorníků 20 ks. (Počet kusů stanoven pro nové seřízení svařovacího automatu na zkušebním vzorku),
- počet zkoušených svorníků na vyráběném dílci 10 ks. Nedoporučuje se provádět metodu zkoušení na vyráběném dílci (doporučení na testovací vzorek).

8 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo optimalizovat proces svařování kondenzátorovým zážehem. Technologie se vyznačuje velmi krátkým svařovacím časem, což klade důraz na vysokou čistotu svařovacích ploch. Svařování je prováděno elektrickým obloukem. Zdrojem elektrického proudu je inventer. Konstrukcí je filtrační nádoba, která filtruje převážně substance obilnin od okolní atmosféry. Při poškození svarového spoje dochází také k poškození systému filtrace a následné odstávce filtračního systému.

V teoretické části práce byl proveden rozbor svařovaných materiálů a technologie svařování. Základním materiálem víka filtrační nádoby je válcovaná konstrukční mikrolegovaná ocel s jemnozrnnou strukturou. Na víko nádoby se přivařují svorníky PT M10x20 mm. Svařování je kontrolováno vizuální metodou, kde se kontroluje rovnoměrnost, barevnost a odstřík svarového spoje. Další metodou zkoušení byla ohybová a tahová zkouška. Byl proveden rozbor těchto metod zkoušení a rozbor vzniku a charakteru vad při svařování, které byly zdokumentovány. Byla vytvořena tabulka nápravných opatření pro jejich zamezení.

V experimentální části práce byly navrženy čtyři režimy svařovacích parametrů v kombinaci s odmaštěním svařovaných součástí. Byl navržen vhodný polotovár vzorku svařované konstrukce. Zkoumaný vzorek obsahoval čtyři části. Tyto části měly vždy odlišné svařovací parametry nebo změněnou povrchovou úpravu. Jednotlivý vzorek obsahoval čtyři přivařené svorníky, z nichž vždy tři svorníky byly podrobeny ohybové zkoušce. Čtvrtý svorník byl podroben metalografické zkoušce.

Výsledkem experimentální části práce je, že přivařované svorníky prošly ohybovou i metalografickou zkouškou pouze s přípustnými vadami. Nejlepších výsledků dosáhl vzorek číslo 3., na kterém se vyskytlo nejméně vad ve svarovém spoji, avšak jsou to vady přípustné a běžně se vyskytující u technologie svařování kondenzátorovým zážehem.

Doporučeními a návrhy pro optimalizaci svařovacího procesu je dbát na technické požadavky svařovacího zdroje, aplikovat odmaštění na svařované součásti a kontrolu zkoušením provádět pouze kvalifikovaným a zkušeným personálem. Ohybovou metodu provádět pouze na zkušebním vzorku pro zamezení vzniku vrubu v závitové ploše. Možný vznik poruch filtrační nádoby může být zapříčiněn dlouhodobým namáháním

vibracemi, které filtrační nádoba vykazuje. Pro další optimalizaci procesu svařování kondenzátorovým zážehem by bylo vhodné zkoumání deformací při svařování.

9 Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN ISO 1455. *Obloukové přivařování svorníků z kovových materiálů*, Praha: Český normalizační institut, 2007. 59 s.
- [2] ČSN EN 10149-2. *Ploché výrobky válcované za tepla z ocelí s vyšší mezí kluzu pro tváření za studena*. Praha: Český normalizační institut. 1999. 12 s.
- [3] ČSN EN 10204. *Kovové výrobky - Druhy dokumentů kontroly*. Praha: Český normalizační institut. 2004. 12 s.
- [4] VÁLKOVÁ, Marie. *Perspektivní metody spojování materiálů – Přivařování svorníků* [online]. 2009 [cit. 2015-12-20]. Dostupné z <http://www1.fs.cvut.cz/cz/U12110/vyzkum/Trebon09/cd/AR/Va.pdf>
- [5] Ploché výrobky válcované za tepla z ocelí s vyšší mezí kluzu pro tváření za studena. In: *Bohdan Bolzano* [online]. 2016 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Ploche_vyrobky/MOP_EN10149TDP.pdf
- [6] Vysokopevná mikrolegovaná ocel. *U. S. Steel Košice* [online]. 2015 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.usske.sk/sk/produkty/ocel-valcovana-za-tepla/vysokopevna-mikrolegovana-ocel>
- [7] KÖCO - svorníky se závitem a svářecí kolíky. In: *Köster & Co.* [online]. 2016 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: http://www.koster.cz/fileadmin/user_upload/download/produktdatenblaetter/KosterCZ/KosterCZ-KatalogSvorniku.pdf
- [8] BMK-16i Inverter. In: *Soyer* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.soyer.cz/produkty/svarovaci-zdroje/zdroje-kratkodobe-zdvihove-navarovani/>
- [9] Nedestruktivní zkoušení: Vizuální metoda (VT). In: *NDT servis* [online]. [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.ndtservis.cz/web/index.php/cz/nedestruktivni-zkouseni?id=2>
- [10] DVOŘÁK, Jaroslav. Nedestruktivní zkoušení – Zásady vizuální kontroly svarů a výrobků. In: *TLAKinfo* [online]. 2006 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1240>
- [11] Statické zkoušky. In: *Západočeská univerzita* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~dyxon/DATA/Nauka%20o%20M/Zkouska.pdf>
- [12] ŠTORKÁN, Zdeněk. Problematika hodnocení svarových spojů. *Konstrukce* [online]. 2014 [cit. 2016-05-06]. ISSN 1803-8433.

- [13] Inspekční certifikát "3.1". In: VÍTKOVICE STEEL [online]. 2007 [cit. 2016-01-14]. Dostupné z: <http://www.vitkovicesteel.com/stranky/atestace-2>
- [14] Zkouška vizuální: Vizuální kontrola přímá. In: *TECHNOTEST* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: http://www.technotest.cz/zkouska_vizualni
- [15] POPIS TECHNOLOGIÍ. In: *SOYER* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.soyer.cz/popis-technologie/popis/>
- [16] Technologie. In: *PROWELD* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.proweld.cz/page/technologie/>
- [17] Povrchové úpravy. In: *Meopta* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.meopta.cz/cz/povrchove-upravy-1404041238.html>
- [18] Progresivní metody detekce mastných látek. In: *TechTest* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.techtest.eu/clanek4.html>
- [19] Technologie zdvihového zážehu. In: *PROWELD* [online]. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: http://www.proweld.cz/newWeb/files/6.technologie_zdvih_zehu_el_ektr_oblouku.pdf
- [20] Odmašťování kovů. *Prášková lakovna Čermák* [online]. 1010 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.praskova-lakovna.com/odmasteni-kovu>
- [21] Odmašťovací přípravky rozpouštědlového typu. *Chemotex* [online]. 1016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.chemotex.cz/ebol-tbt-1.html>
- [22] Přivařování hrotovým zážehem. In: *PROWELD* [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: http://www.proweld.cz/newWeb/files/1.technologie_hrot_zehu_kond_vboje.pdf
- [23] KANBAN SERVIS s.r.o.. *Atestace: DIN ČSN EN 10204/3.1.* [s. l.]: Kanban i. servis s.r.o., ©2015
- [24] BUHLER s.r.o.. Výkres podsestavy [s. l.]: Bühler s.r.o., ©2015
- [25] BUHLER s.r.o.. Základní materiál[s. l.]: Bühler s.r.o., ©2015
- [26] BHLEER s.r.o.. Hodnoty ohybového momentu[s. l.]: Bühler s.r.o., ©2015
- [27] ČSN EN 473. *Nedestruktivní zkoušení – Kvalifikace a certifikace pracovníků NDT- Všeobecné zásady*, Praha: Český normalizační institut, 2009. 28 s.
- [28] ČSN EN 9712. *Nedestruktivní zkoušení – Kvalifikace a certifikace pracovníků NDT*, Praha: Český normalizační institut, 2013. 36 s.

Seznam tabulek

Tab. 1.	Chemické složení [5]
Tab. 2.	Mechanické složení [6]
Tab. 3.	Rozměrové specifikace svorníku [8]
Tab. 4.	Hodnoty ohybového momentu [13]
Tab. 5.	Vzniklé vady při svařování s hrotovým zážehem [1]
Tab. 6.	Svařovací parametry
Tab. 7.	Optimalizace svařovacích parametrů

Seznam obrázků

Obr. 1. –	Přivařování svorníků elektrickým obloukem [4]
Obr. 2. –	Přivařování svorníků kondenzátorovým výbojem [4]
Obr. 3. –	Metalografické výbrusy přivařovaných svorníků [4]
Obr. 4. –	Svařovací automat BMK-16i [9]
Obr. 5. –	Chemické složení dle ČSN EN 10149-2 [5]
Obr. 6. –	Mechanické složení dle ČSN EN 10149-2 [5]
Obr. 7. –	ČSN EN 10204- 3.1
Obr. 8. –	ČSN EN 10204- 3.1 [10]
Obr. 9. –	Rozměrové specifikace svorníku [8]
Obr. 10. –	Filtrační nádoba
Obr. 11. –	Rozměrové specifikace svařence [11]
Obr. 12. –	Zkouška ohybem na $\alpha = 30^\circ$ [1]
Obr. 13. –	Zkouška momentovým klíčem [1]
Obr. 14. –	Hodnoty ohybového momentu
Obr. 15. –	Zkouška tahem [1]
Obr. 16. –	Grafická zkouška krutem [14]
Obr. 17. –	Zkouška krutem [1]
Obr. 18. –	Foto vady 1
Obr. 19. –	Foto vady 2
Obr. 20. –	Foto vady 3
Obr. 21. –	Foto vady 4
Obr. 22. –	Svařovací parametry- metalografická zkouška
Obr. 23. –	Polotovar zkušební spoje

- Obr. 24. – Polotovar zkušební spoje č. 1.
- Obr. 25. – Detail polotovar zkušební spoje č. 1.
- Obr. 26. – Přetržení zkušební vzorku č. 1.
- Obr. 27. – Polotovar zkušební spoje č. 2.
- Obr. 28. – Detail polotovar zkušební spoje č. 2.
- Obr. 29. – Přetržení zkušební vzorku č. 2.
- Obr. 30. – Polotovar zkušební spoje č. 3.
- Obr. 31. – Detail polotovar zkušební spoje č. 3.
- Obr. 32. – Přetržení zkušební vzorku č. 3.
- Obr. 33. – Polotovar zkušební spoje č. 4.
- Obr. 34. – Detail polotovar zkušební spoje č. 4.
- Obr. 35. – Přetržení zkušební vzorku č. 4.